

С. Г. КОРСУНСКИЙ и И. Д. СИМОНОВ

Электромузыкальные инструменты



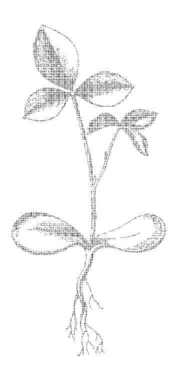
1957

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 271

С. Г. КОРСУНСКИЙ и И. Д. СИМОНОВ

ЭЛЕКТРОМУЗЫКАЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1957 ЛЕНИНГРАД

В брошюре изложены основные принципы работы различных электрических музыкальных инструментов и даны описания их схем и конструкций. В начале брошюры приводятся основные сведения из области музыкальной акустики, необходимые как для понимания принципов действия, так и для правильного конструирования электрических музыкальных инструментов.

Брошюра рассчитана на радиолюбителя, обладающего музыкальным слухом и знакомого с работой и устройством усилителей и генераторов.

СОДЕРЖАНИЕ

Авторы

Корсунский Саул Григорьевич и Симонов Игорь Дмитриевич

ЭЛЕКТРОМУЗЫКАЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Редактор *З. Б. Гинзбург* Техн. редактор *К. П. Воронин*

Сдано в набор 22/III 1957 г. Подписано к печати 22/V 1957 г.
Бумага 81×108 1/32 3,3 печ. л. Уч.-изд. л. 3,7.
Т-04569. Тираж 18 500 экз. Цена 1 р. 50 к. Заказ 172

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ МУЗЫКАЛЬНОЙ АКУСТИКИ И ТЕОРИИ МУЗЫКИ

Высота звука. Различные звуки одного и того же музыкального инструмента различаются между собой по высоте, которая определяется частотой колебаний (числом колебаний в секунду) основной части инструмента — его вибратора. Таким вибратором в духовых музыкальных инструментах является столб воздуха, заключенный в их корпусе, а в инструментах смычковых и струнных — их струны. Если частоты колебаний вибраторов двух различных инструментов (например, столба воздуха в корпусе гобоя и струны на скрипке) одинаковы, то мы слышим при этом звуки одинаковой высоты. Чем меньше частота колебаний вибратора музыкального инструмента, тем ниже получается звук, и наоборот.

Частотный диапазон звучания современных музыкальных инструментов простирается от 16,35 колебаний в секунду — 16,35 *гц* (звук «до» так называемой субконтроктавы, или C_2) до 4 185,6 *гц* (звук «до» пятой октавы, или c^5).

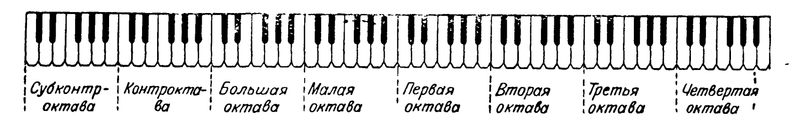
Весь частотный диапазон звучания можно разделить на несколько отрезков, которые представляют собой основные октавные диапазоны (рис. 1). Им соответствуют следующие полосы частот: диапазон субконтроктавы от 16,35 *гц* («до» субконтроктавы C_2) до 30,87 *гц* («си» субконтроктавы H_2); диапазон контроктавы от 32,7 *гц* («до» контроктавы C_1) до 61,74 *гц* («си» контроктавы H_1); диапазон большой октавы от 65,41 *гц* («до» большой октавы C) до 123,47 *гц* («си» большой октавы H); диапазон малой октавы от 130,81 *гц* («до» малой октавы c) до 246,94 *гц* («си» малой октавы h); диапазон первой октавы от 261,63 *гц* («до» первой октавы c^1) до 493,88 *гц* («си» первой октавы h^1); диапазон второй октавы от 523,25 *гц* («до» второй октавы c^2) до 987,77 *гц* («си» второй октавы h^2); диапазон третьей октавы от 1 046,5 *гц* («до» третьей октавы c^3) до 1 975,53 *гц* («си» третьей октавы h^3); диапазон четвертой октавы от

2 093 *гц* («до» четвертой октавы c^4) до 3 951,07 *гц* («си» четвертой октавы h^4) и звук «до» пятой октавы (4 186 *гц* c^5).

Для большего удобства весь музыкальный частотный диапазон разбивают на низкий, средний и высокий регистры.

Низкому регистру соответствует полоса частот приблизительно 16—200 *гц* (диапазон субконтроктавы, контроктавы, большой октавы и часть диапазона малой октавы).

Среднему регистру соответствует полоса частот 200—800 *гц* (часть диапазона малой октавы, диапазон первой октавы и часть диапазона второй октавы).



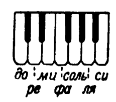


Рис. 1. Клавиатура.

Высокому регистру соответствует полоса частот 800—4 186 *гц* (часть диапазона второй октавы, диапазоны третьей и четвертой октав).

Основным тоном (стандартом частоты) современного музыкального частотного диапазона является звук «ля» первой октавы, частота которого равна 440 *гц*.

Исходя из этого стандарта, получим следующую таблицу частот темперированной шкалы.

Октавы								
суб-контр-октава	контр-октава	большая	малая	первая	вторая	третья	четвертая	Звук
16,35	32,7	65,41	130,81	261,63	523,25	1046,5	2093	До
17,32	34,65	69,3	138 59	277,18	554,37	1108 73	2217,46	До диез
18,35	36,71	73.42	146,83	293.66	587,33	1174,66	2349,32	Ре
19,45	38,89	77,78	155.56	311.13	622,25	1244,51	2489,02	Ре диез
20,6	41.2	82,41	164,81	329,63	659,26	1318,51	2637,12	Ми
21,83	43,65	87,31	174,61	349,23	698,46	1396,91	2793,83	Фа
23,12	46,25	92,5	185	369,99	739,99	1479,98	2959,96	Фа диез
24,5	49	98	196	392	783,99	1567,98	3135,96	Соль
25,96	51,91	103,83	207,65	415,3	830,61	1661,22	3322,44	Соль диез
27,5	55	110	220	440	880	1760	3520	Ля
29,14	58,27	116,54	233,08	466,16	932,33	1864,66	3729,31	Си бемоль
30,87	61,74	123,47	246,94	493,88	987,77	1975,53	3951,07	**Си**

В каждый октавный диапазон входят определенные звуки, которым присвоены соответствующие наименования: до, ре, ми, фа, соль, ля, си. На фортепиано им соответствуют белые клавиши.

Для их обозначения используют семь прописных и семь строчных букв латинского алфавита. Кроме того, у этих букв снизу и сверху помещаются цифры. Большая октава (от «до» до «си») обозначается прописными буквами: *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *A*, *H*. Малая октава (от «до» до «си») обозначается строчными буквами: *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *a*, *h*.

При обозначении звуков контроктавы добавляется цифра 1 внизу буквы ($C_1 — H_1$), а при обозначении звуков субконтроктавы — цифра 2 ($C_2 — H_2$).

При обозначении звуков первой, второй, третьей и четвертой октав к строчным буквам добавляется сверху цифра, соответствующая данной октаве (c^1, c^2, c^3, c^4,).

Октава. Мы уже познакомились с этим термином как с обозначением определенного отрезка современного музыкального частотного диапазона. Но этот термин может нас заинтересовать и с несколько иной точки зрения.

В музыке расстояние по высоте между двумя звуками называется и н т е р в а л о м. Минимальное расстояние или наименьший интервал носит название п о л у т о н а. На фортепиано это составляет расстояние между двумя соседними клавишами.

Но интервалом называется не только расстояние между двумя музыкальными звуками, но и само звучание (двухзвучие). Так, интервал может быть гармоническим, когда оба этих звука берутся одновременно; он может быть и мелодическим, если эти звуки воспроизводятся последовательно.

Если мы на фортепиано отсчитаем последовательно 12 полутонов от звука «до» первой октавы, то мы придем к звуку «до» второй октавы. Следовательно, расстояние между одноименными звуками в соседних октавах равно 12 полутонам. Этот интервал, включающий одноименные звуки (c^1 и c^2), называется интервалом октавы или просто октавой. Следовательно, октавой называется не только отрезок частотного диапазона, но и интервал звучания, состоящий из 12 полутонов. По приведенной выше таблице частот видно, что частота первого звука интервала октавы a^1—a^2 равна 440 *гц*, а частота второго — 880 *гц*, т. е. она ровно вдвое больше частоты первого звука. Разность частот между ними равна 440 *гц*. Звук «ля» малой октавы

имеет частоту 220 *гц*. Интервал октавы (a—a^1) дает такое же отношение частот, как и предыдущий интервал (a^1—a^2), т. е. в 2 раза, но разность частот колебаний в этом случае равна уже только 220.

Из этого видно, что интервал октавы образуется двумя звуками, из которых один обладает частотой колебаний, ровно в 2 раза большей, чем другой. Какова при этом будет действительная частота колебаний наблюдаемых звуков, значения иметь не будет, если соблюдено условие, что частота одного звука в 2 раза больше частоты второго.

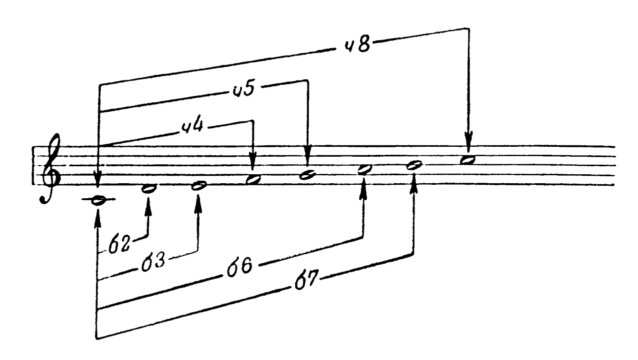


Рис. 2. Интервалы между начальной и основными ступенями.

Это явление объясняется особенностью нашего слухового восприятия, которая может быть сформулирована следующим образом: одинаковые относительные изменения частоты звука воспринимаются органом слуха как равные приросты его высоты. Увеличение частоты звука вдвое производит впечатление повышения высоты звука на октаву независимо от абсолютной высоты звука, т. е. независимо от того, в каком диапазоне берется интервал (в басу, верхнем регистре и т. д.).

Основные ступени (белые клавиши на фортепиано) образуют с начальной ступенью (звуком «до») каждого основного диапазона следующие интервалы (рис. 2):

большую секунду — б2 («до» — «ре») — интервал, охватывающий две соседние ступени и имеющий величину, равную двум полутонам;

большую терцию — б3 («до» — «ми») — интервал, охватывающий три соседние ступени и имеющий величину, равную четырем полутонам;

чистую кварту или просто кварту — ч4 («до» — «фа») — интервал, охватывающий четыре соседние ступени и имеющий величину, равную пяти полутонам;

чистую квинту или просто квинту — ч5 («до» — «соль») — интервал, охватывающий пять соседних ступеней и имеющий величину, равную семи полутонам;

большую сексту — б6 («до» — «ля») — интервал, охватывающий шесть соседних ступеней и имеющий величину, равную девяти полутонам;

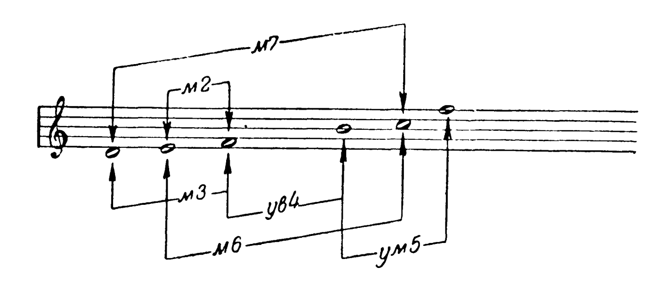


Рис. 3. Интервалы не от начальной, а от других ступеней.

большую септиму — б7 («до» — «си») — интервал, охватывающий семь соседних ступеней и имеющий величину, равную 11 полутонам;

чистую октаву или просто октаву — ч8 («до» — «до») — интервал, охватывающий восемь соседних ступеней и имеющий величину, равную 12 полутонам.

Если в качестве нижнего звука брать не «до», а другие основные ступени, то к указанным интервалам прибавятся следующие (рис. 3):

малая терция — м3 («ре» — «фа») — интервал, охватывающий три соседние ступени и имеющий величину, равную трем полутонам;

малая септима — м7 («ре» — «до») — интервал, охватывающий семь соседних ступеней и имеющий величину, равную десяти полутонам;

малая секунда — м2 («ми» — «фа») — интервал, охватывающий две соседние ступени и имеющий величину, равную полутону;

малая секста — м6 («ми» — «до») — интервал, охватывающий шесть соседних ступеней и имеющий величину, равную восьми полутонам;

увеличенная кварта — ув4 («фа» — «си») — интервал, охватывающий четыре соседние ступени и имеющий величину, равную шести полутонам;

уменьшенная квинта — ум5 («си» — «фа») — интервал, охватывающий пять соседних ступеней и имеющий величину, равную шести полутонам.

Черные клавиши фортепиано называются альтерированными (измененными) ступенями современного музыкального частотного диапазона. Они служат для повышения (диезы) и понижения (бемоли) основных ступеней.

Громкость. Звуки, в частности музыкальные, кажутся тихими или громкими в зависимости от их действительной силы и особенностей нашего слуха. Эта зависимость между громкостью звука и его силой довольно сложна. Так, например, при увеличении силы звука в 1 000 раз громкость его увеличивается всего лишь в 6—7 раз.

В музыкальной практике различные оттенки громкости или, как их чаще называют, динамические оттенки (от самых тихих к самым громким) обозначаются следующим образом: пиано-пианиссимо; пианиссимо; пиано; меццо-пиано; меццо-форте; форте; фортиссимо; форте-фортиссимо.

В предельных случаях сила звуков меняется в несколько миллионов раз. Оперировать при вычислениях и определениях такими числами очень неудобно. Поэтому обычно предпочитают иметь дело не с самими отношениями сил звуков, а с их логарифмами.

В качестве логарифмической единицы уровня громкостей звуков в международной практике принят децибел (*дб*). В практических условиях он равен едва заметному приросту громкости над порогом слышимости, т. е. над той границей, ниже которой мы вообще ничего не слышим. Для примера можно указать, что уровень громкости симфонического оркестра при игре фортиссимо равен примерно 100 *дб*, а уровень громкости шопотной речи, произнесенной на расстоянии 1,5 *м*, равен 10 *дб*. Разница между смежными динамическими оттенками равна также приблизительно 10 *дб*. Динамический диапазон симфонического оркестра, т. е. разница между его максимальным и минимальным уровнями громкости, равен приблизительно 60 *дб*.

Тембр. Все музыкальные звуки являются звуками сложными. Каждый такой звук состоит прежде всего из основного тона определенной частоты и ряда других частот, придающих данному звуку те или иные характерные для него оттенки. Если частоты отдельных составляющих сложного

звука находятся в кратных отношениях с частотой основного тона, то такие составляющие носят название гармонических или гармоник (в музыкальной теории они обычно называются гармоническими обертонами).

Если, например, воспроизвести на скрипке звук «ля» первой октавы, то при точной настройке частота этого звука будет равна 440 *гц*. Звук этот сложный; он имеет ряд составляющих, в частности гармонических. Не вдаваясь в технические подробности, укажем лишь, что он имеет до 20 гармоник. Следовательно, имеется ряд звуков с различными частотами, кратными 440, из которых самая высокая равна 8 800 *гц*. Однако, несмотря на то, что звук скрипки включает в себя такое большое количество звуков различной частоты, высота суммарного слышимого звука определяется лишь частотой первой гармоники, т. е. частотой основного тона (440 *гц*), а наличие в звуке остальных гармоник характеризует его тембр.

Тембром звука называют его окраску, т. е. то его свойство, которое позволяет различать между собой два звука, одинаковые по высоте и громкости.

Кроме гармонических составляющих, на тембр звука могут оказывать влияние и всякого рода призвуки и шумы, а также и негармонические составляющие, т. е. частоты, не находящиеся в кратных отношениях с частотой основного тона.

На тембр музыкального звука влияет прежде всего его спектральный состав, т. е. количество простых звуков в нем и их относительные амплитуды.

Длительность и характер моментов возникновения и прекращения звука также влияют на тембр инструмента. Звук рояля (при нажатой клавише) возникает быстро, а затем плавно затухает. Это происходит потому, что при нажиме на клавишу молоточек, связанный с этой клавишей, ударяет по струне, заставляет ее колебаться, а затем моментально отскакивает, не мешая этим колебаниям. Если клавишу после удара отпустить, то специальный демпфер (глушитель) опустится на струну и тем самым быстро заглушает колебания струны, и звук прекращается почти мгновенно.

Таким образом, на рояле получается быстрое возникновение звука или, как говорят, жесткая атака и плавное, а при желании и быстрое затухание звука.

При игре на баяне или аккордеоне звуки возникают более плавно, чем на рояле. В этом случае получается, как

говорят, мягкая атака звука. Тот же баянист может управлять длительностью атаки звуков, поскольку она сильно зависит от скорости сжимания мехов.

Немецкий ученый Бакгауз провел в 1932 г. интересный опыт с музыкальными звуками малой длительности. Он давал слушать на наушники звуки различных хорошо известных музыкальных инструментов, причем слушатель получал звук несколько позже, чем исполнитель начинал играть. Таким образом, естественное начало музыкального звука было отсечено. Оказалось, что даже очень опытные музыканты при этом путали одни инструменты с другими. Это показывает, что для узнавания тембра важна не только установившаяся часть музыкального звука, но и его начало (атака).

Процесс звучания большинства музыкальных инструментов можно условно разбить на три части: атаку, установившуюся часть и затухание. У некоторых же инструментов, как, например, рояль, арфа, гитара и др., где звуковые колебания струн возбуждаются либо ударом, либо щипком, средняя часть звука отсутствует и после сравнительно резкой атаки непосредственно следует плавное затухание.

На тембр звука влияет, наконец, и наличие в звуке периодических изменений частоты, амплитуды или спектрального состава. Высота звука скрипки определяется действующей длиной струны. Прижимая струну к грифу в той или иной точке, исполнитель меняет высоту тона. Путем легкого покачивания пальца скрипач производит периодическое изменение частоты звука, аналогичное частотной модуляции. Частота этих изменений (вибраций) обычно равна 5—7 *гц*.

Как правило, изменение частоты приводит к изменению и высоты звука, т. е. звук кажется либо выше, либо ниже. Здесь же благодаря быстрому процессу периодического и плавного изменения частоты звук кажется измененным не по высоте, а по тембру. Звук скрипки в нашем примере обогащается и делается более выразительным. Попутно можно отметить, что периодическое изменение частоты звука (так называемая частотная вибрация) применяется не только при игре на смычковых инструментах, но и в пении: певцы пользуются этим средством для получения красивого, выразительного звука.

Мензура. Под мензурой подразумеваются некоторые взаимоотношения между геометрическими величинами отдельных частей музыкальных инструментов и связанных

с этим физических особенностей этих инструментов. В органе, например, мензурой называют отношение ширины органной трубы к ее длине. Трубы с широкой мензурой дают мягкий, а трубы с узкой мензурой — более резкий тон.

В фортепиано мензурой струн называется закон изменения основных параметров струн (длины и диаметра) при понижении звука на полутон, т. е. от струны к струне, начиная от самого высокого звука инструмента.

По аналогии с этим мензурой скрипичной струны можно назвать закон, по которому необходимо менять ее длину (прижимая ее пальцем в различных точках) для того, чтобы получить повышение звука на полтона.

Мензура скрипичных струн не является равномерной. Для получения по всей длине струны одинаковых интервалов приходится брать неодинаковые расстояния между точками прижатия пальцев. Длина звучащей части пустой скрипичной струны равна приблизительно 33 *см*. Если прижать струну посредине, звук повысится на октаву. При этом струна укоротится на 16,5 *см*. Для повышения полученного звука еще на октаву необходимо разделить полученный отрезок струны еще раз пополам и укоротить на 8,25 *см*. Значит, для октавного повышения звука необходимо каждый раз укорачивать звучащую часть струны вдвое независимо от ее абсолютной длины. В линейном масштабе оба случая неодинаковы: в первом случае струну приходится укоротить на 16,5 *см*, а во втором на 8,25 *см*, но в обоих случаях происходит деление струны пополам, а звук повышается на октаву.

Эти закономерности напоминают изложенные выше взаимоотношения частот и интервалов, в частности октав

Для получения одинаковых интервалов на струне необходимо каждый раз делить струну так, чтобы сохранялось постоянство отношения полученных частей струны, а не их разности. Поэтому можно сказать, что мензура скрипичной струны подчиняется логарифмическому закону, а не линейному. Это же относится и к другим струнным и смычковым инструментам (альт, виолончель, гитара, арфа и др.).

Достоинством скрипичной мензуры является ее постоянство, сохраняющееся даже при растяжении струны, т. е. даже при понижении ее основного тона.

Мензура на грифах электромузыкальных инструментов, как правило, делается равномерной. Это ее несомненное достоинство. Недостатком же ее является то, что при расстройке основного генератора мензура не остается постоянной и

строй электроинструмента «расползается». Это обстоятельство определяет высокие требования к стабильности генераторов по частоте в одноголосных электрических музыкальных инструментах.

Легато и стаккато. Термины эти, часто встречающиеся в дальнейшем изложении, определяют различные способы игры на музыкальных инструментах.

Игра легато — это связная игра, т. е. игра без пауз между отдельными звуками. Связная игра на клавишных инструментах достигается тем, что играющий не снимает пальца с одной клавиши до того, пока не нажмет на следующую. На фортепиано при таком способе игры струны первой клавиши не заглушаются демпфером до нажатия второй клавиши и, следовательно, продолжают звучать вплоть до появления второго звука.

Стаккато — это игра отрывистыми звуками. При такой игре отдельные звуки не примыкают друг к другу, а оказываются отделенными между собой, хотя бы и небольшими паузами.

РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРОМУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Музыкальные инструменты были рождены в глубокой древности. Для их изготовления первобытный человек применял только те примитивные средства, которые были в его распоряжении. Так появились первые ударные инструменты — колотушки и барабаны. Так появились флейты из костей и тростника. В бронзовом веке человек уже играл на металлических инструментах — простейших колокольчиках. Колеблющаяся тетива лука была основой древних струнных инструментов.

Развитие техники от примитивной к более совершенной, несомненно, отражалось на формировании средств музыкальной культуры. Появились орган, в котором применялись уже как гидравлика, так и пневматика, а затем и рояль, который строился на базе достаточно совершенной механики.

После появления саксофона, изобретенного в середине прошлого столетия мастером А. Саксом, и челесты, впервые примененной П. И. Чайковским, работа по конструированию новых инструментов замерла. Оказалось, что для их изобретения требуется более современная техническая база. Обычные вибраторы и резонаторы, сыгравшие огромную роль в формировании основных средств музыкальной культуры, уже не могли обеспечить все необходимое для новых

разработок. Появилась явная потребность в изыскании иных средств для образования новых звуков.

Первые машины переменного тока, телеграф и телефон — как раз и явились такими средствами, которые позволили наметить новые пути в области конструирования музыкальных инструментов.

Кахилл (США) и Плаусон (Россия) на рубеже XIX и XX вв. запатентовали первые электрические органы. Однако попытки практического их выполнения не дали сколько-нибудь серьезного успеха из-за несовершенства слаботочной техники того времени. Так, телармониум Кахилла весил 200 *т*. Для его перевозки требовалось 40 вагонов. Вполне естественно, что такое сложное устройство не нашло практического применения.

Лишь с развитием радиотехники, начало которой было положено великим ученым А. С. Поповым, наметились более конкретные пути развития электрического метода построения музыкальных инструментов.

Изобретатель трехэлектродной лампы Ли де Форест предложил в 1915 г. первый музыкальный инструмент с генератором на триоде. Но этот инструмент также не был доведен до практической реализации.

Таким образом, первые электромузыкальные инструменты оставались, по существу говоря, всего лишь лабораторными приборами и в силу своего несовершенства не могли применяться в концертной практике.

ТЕРМЕНВОКС

1921 г. Советская Россия испытывает огромные трудности и лишения, вызванные интервенцией и гражданской войной. Но и в этот тяжелый период все новое, прогрессивное встречается с восторгом и находит путь к практическому осуществлению.

На восьмом электротехническом съезде, происходившем в Москве в 1921 г., впервые в мире было продемонстрировано исполнение концертной программы на электрическом музыкальном инструменте. Молодой инженер Л. С. Термен подошел к небольшому ящику, поднял обе руки и, не прикасаясь ими к какому-либо предмету, вызвал звучание певучей мелодии. Появление терменвокса (так стал называться новый музыкальный инструмент) ознаменовало начало развития новой области музыкальной науки и искусства — электромузыки.

Способы управления мелодией и оттенками звука в этом

инструменте были совершенно необычны, что и вызвало к нему большой интерес. Попутно следует отметить, что развитие электромузыки в нашей стране началось с открытия бесконтактного управления высотой и громкостью звука, которое и применялось в терменвоксе.

Как же работает терменвокс? Для ответа на этот вопрос обратимся к блок-схеме инструмента (рис. 4). Предположим, что генератор постоянной частоты *3* создает колебания с частотой 130 000 *гц*. Тогда, чтобы получить в громкоговорителе *7* все основные звуки, применяемые в современной музыке, мы должны будем изменять настройку генератора переменной частоты *2* в пределах 130 020—134 000 *гц*.

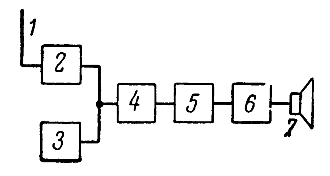


Рис. 4. Блок-схема терменвокса.

1 — штыревая антенна; *2* — генератор переменной частоты; *3* — генератор постоянной частоты; *4* — детектор; *5* — регулятор громкости; *6* — усилитель; *7* — громкоговоритель.

Преобразование колебаний, полученных от двух генераторов терменвокса, в звуковую частоту выполняется при помощи детектора *4*. Если теперь в анодную цепь детекторной лампы включить телефон, то в нем будет слышен звук, частота которого равна разности частот, поступающих на вход этой лампы.

В терменвоксе крайние частоты звукового диапазона будут равны: верхняя частота 134 000 — 130 000 = 4 000 *гц*, что примерно соответствует верхнему звуку рояля, и нижняя частота 130 020 — 130 000 = 20 *гц*.

В случае необходимости этот диапазон может быть расширен или сжат за счет изменения настройки генератора переменной частоты. Использование метода биений позволяет получить весь диапазон звуковых частот без применения переключателя.

На основе этого метода работает, например, звуковой генератор ЗГ-2 А, установка частоты которого производится путем вращения ручки конденсатора переменной емкости. Но специфика музыкального исполнения требует других приемов управления звуком. В терменвоксе частота одного из генераторов определяется расстоянием между рукой музыканта и небольшой вертикальной (штыревой) антенной *1*. Таким образом, конденсатор переменной емкости, обычно включаемый параллельно катушке индуктивности колебательного контура, заменяется переменной емкостью рука — антенна.

Рассмотрим принципиальную схему терменвокса (рис. 5).

Генератор фиксированной частоты собран по транзитронной схеме. В цепи управляющей (четвертой) сетки лампы $Л_2$ имеется колебательный контур $L_4C_4C_5$. Конденсатор переменной емкости C_4, ручка которого выводится на переднюю панель, служит для настройки инструмента. Индуктив-

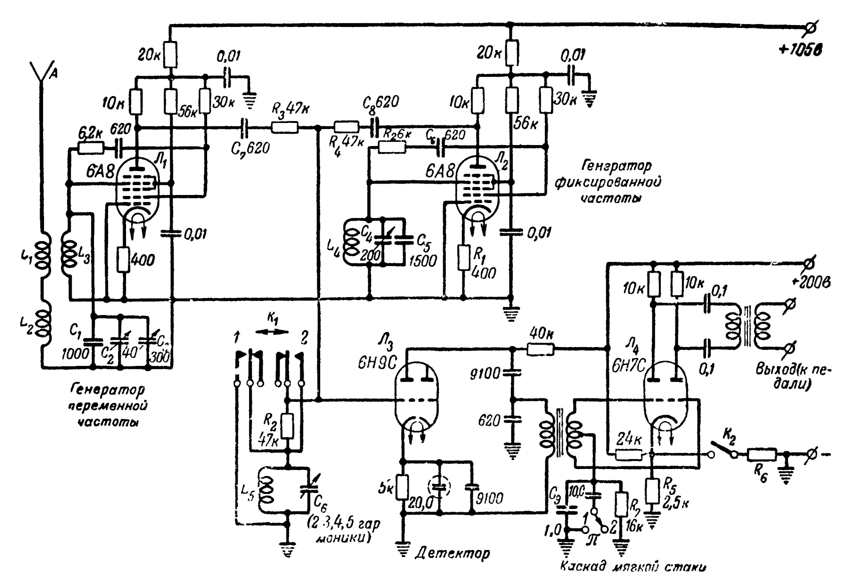


Рис. 5. Принципиальная схема терменвокса.

ность катушки L_4 составляет 1 *мгн.* В качестве этой катушки был использован трансформатор промежуточной частоты от приемника «Урал-47», у которого обмотки соединяются последовательно.

Сопротивление R_1, находящееся в цепи катода лампы, не шунтировано конденсатором, благодаря чему образуется отрицательная обратная связь по току.

Для налаживания генератора можно рекомендовать проверить его предварительно по низкой частоте. Для этого вместо контура $L_4C_4C_5$ надо включить сопротивление порядка 0,6 *Мом.* Контрольный телефон включается одним концом к заземляющему проводу, а другим — к аноду лампы $Л_2$ через конденсатор емкостью порядка 0,01 *мкф.* При нормальной работе генератора в телефоне будет слышен звук.

Генератор переменной частоты собирается также по транзитронной схеме на лампе $Л_1$. Контурная катушка L_3 этого генератора составлена из обмоток трансформатора промежуточной частоты от приемника «Урал-47», причем эти обмотки сдвигаются.

Катушка контура индуктивно связана с антенной катушкой L_1, индуктивность которой равна примерно 57 *мгн*. Последовательно с ней в антенной цепи включена катушка L_2 индуктивностью порядка 28 *мгн*.

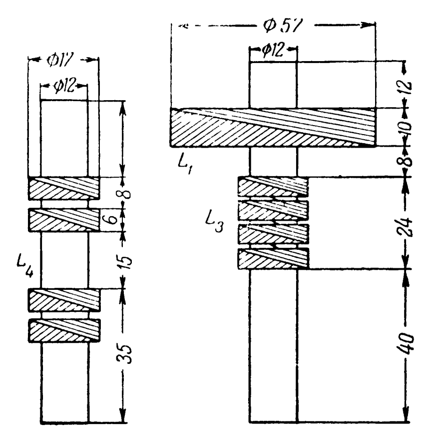


Рис. 6. Катушки терменвокса.

Устройство катушек показано на рис. 6. Катушка L_1 содержит 1 600 витков провода ПЭЛ 0,15, а катушки L_3 и L_4 — по 127×4 витков ЛЭШО 7×0,7.

Сумма индуктивностей катушек L_1 и L_2 вместе с емкостью штыревой антенны относительно корпуса инструмента и емкостью кисти руки исполнителя должна давать резонанс на частоте, близкой к собственной настройке контура генератора переменной частоты. Это легко обнаружить по щелчку, возникающему из-за резкого изменения частоты генератора в момент резонанса.

При настройке антенны надо подобрать наивыгоднейшую связь между катушками сеточного и антенного контуров. От этой связи сильно зависит равномерность распределения октав в пространстве перед антенной.

Штыревая антенна изготавливается из дюралевых трубок, одна из которых может вдвигаться в другую. (рис. 7).

Вблизи антенны изменение емкости становится более резким, и это вызывает уплотнение интервалов, в то время как на большом расстоянии от антенны те же интервалы занимают большие отрезки. Для уплотнения мензуры на басах можно настраивать генератор переменной частоты так, чтобы точка нулевых биений оказывалась впереди исполнителя.

При правильной настройке терменвокса звук должен повышаться по мере приближения руки к антенне. Надо обратить внимание на срыв колебаний, который получается в мо-

мент резонанса между антенным и сеточным контурами. Обычно этот срыв сопровождается щелчком, после появления которого звук пропадает или резко меняет высоту.

Работать близко к этому срыву не рекомендуется, поскольку здесь не может быть обеспечена достаточная устойчивость частоты. Л. С. Термен советует устанавливать точку срыва колебаний как бы за спиной исполнителя. Это позволяет уплотнить интервалы на басах, что может облегчить игру на инструменте.

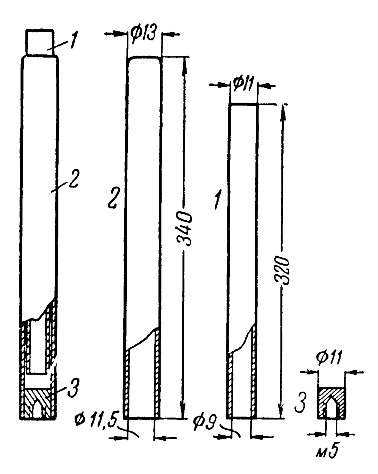


Рис. 7. Штыревая антенна терменвокса.

1 — подвижная часть; *2* — неподвижная часть; *3*—втулка.

Применение ламп 6А8 в транзитронном генераторе вызвано тем, что в этом случае цепь выхода наименьшим образом влияет на частоту генератора(поскольку он может действовать даже при разомкнутой цепи анода). Радиолюбителям, желающим усовершенствовать схему терменвокса, мы рекомендуем провести эксперименты с дальнейшим понижением напряжения на анодах генераторных ламп. Это позволит еще больше ослабить влияние выходных цепей генератора на его частоту.

Напряжение накала рекомендуется понижать до 5,5 *в*, а напряжение, подаваемое на аноды ламп, должно браться после стабилизатора. При этих условиях удается получить устойчивость частоты терменвокса порядка 5—10 *гц*.

Аноды генераторных ламп $Л_1$ и $Л_2$ соединяются с сеткой детекторной лампы $Л_3$ через последовательно соединенные конденсатор и сопротивление. В цепи сетки детекторной лампы включен колебательный контур, служащий для управления тембром по высокой частоте.

В электрических музыкальных инструментах для управления составом гармоник, от которых зависит тембр звука, применяются два основных метода: формантный и гармонический. При формантном методе происходит усиление гармоник в определенной, относительно узкой полосе частот.

Допустим, что в усилителе инструмента имеется колебательный контур, настроенный на частоту порядка 500 *гц*.

Генератор инструмента настраиваем сперва на звук «до» большой октавы (65,4 *гц*). Тогда частотный спектр, полученный на выходе усилителя, будет характеризоваться выделением восьмой гармоники, поскольку ее частота наиболее близка к настройке контура (рис. 8,*а*).

Теперь настроим генератор инструмента на «до» малой октавы (130,8 *гц*). Естественно, что поскольку настройка колебательного контура, включенного в усилитель, не менялась, теперь будет подчеркнута уже не восьмая гармоника, а четвертая (рис. 8,*б*).

Таким образом, формантная система характеризуется тем, что по мере изменения высоты тона выделяются гармоники, имеющие различные порядковые номера и расположенные в узкой полосе частот. Соотношение между гармониками, очевидно, при этом не будет величиной постоянной.

Другая картина будет наблюдаться при гармоническом управлении тембром. Здесь уже не будет подчеркиваться определенная полоса частот и соотношение между амплитудами гармоник окажется постоянным.

На рис. 8,*в* и *г* показаны спектры, полученные от тех же основных звуков («до» большой и малой октав) в случае применения схемы гармонического управления тембром.

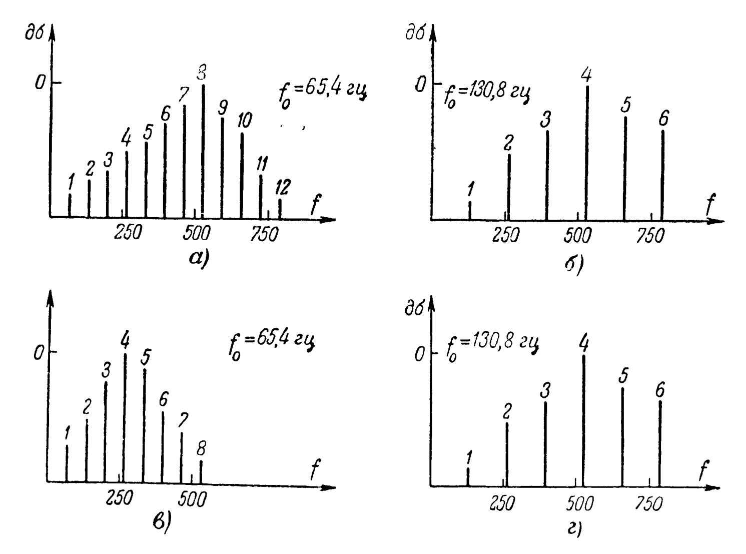


Рис. 8. Частотные спектры звуков.

а — спектр звука „до" большой октавы с формантой 500 *гц*; *б* — то же звука „до" малой октавы; *в* и *г* — спектры двух звуков „до" при выделении заданных гармоник.

Включение резонансного контура в цепи усилителя для получения формант было впервые предложено для электромузыкальных инструментов Л. С. Терменом в 1921 г. Теория формантного образования тембра была до этого разработана немецким ученым Германом.

В 1926 г. сотрудник Ленинградского института истории и теории искусств Ю. А. Кауфман впервые предложил гармонический способ управления тембром электромузыкальных инструментов. Обратимся вновь к рис. 5 и рассмотрим, как работает терменвокс при применении метода Ю. А. Кауфмана.

Мы уже упоминали о том, что для получения полного диапазона надо менять частоту генератора, связанного с антенной, в пределах 130—134 *кгц*.

Форма колебаний на выходе генераторов высокой частоты не оказывается строго синусоидальной. Поэтому вторая гармоника генератора фиксированной частоты (260 *кгц*) будет давать биения со второй гармоникой управляемого генератора, частота которой будет меняться в пределах 260—268 *кгц*.

В результате биений между вторыми гармониками, возникающими на высокой частоте, после детектирования можно получить вторую гармонику по звуковой частоте. Очевидно, что таким же образом можно получить и следующие гармоники. Замечательным свойством этого способа оказалась возможность выделения заданной гармоники по всему диапазону при помощи только одного фильтра.

На принципиальной схеме терменвокса (рис. 5) имеется колебательный контур высокой частоты L_5C_6. При положении *2* ключа K_1 сопротивление R_2 замыкается и на контур L_5C_6 через конденсаторы C_7 и C_8 и сопротивления R_3 и R_4 подаются колебания высокой частоты от двух генераторов. В качестве катушки L_5 используется одна из обмоток любого фильтра промежуточной частоты на 460 *кгц*. Максимальная емкость конденсатора C_6 равна 500 *пф*.

Допустим, что тембровый контур L_5C_6 настроен на 260 *кгц*. Естественно, что в силу недостаточно высокой избирательности одиночного контура его настройка будет не очень острой и он сможет пропускать некоторую полосу частот вблизи резонанса. Это значит, что контур будет пропускать не только вторую гармонику генератора фиксированной частоты, но и вторую гармонику генератора переменной частоты, лежащую в пределах диапазона 260 040 — 268 000 *гц*.

Разностная частота двух генераторов выделяется после детектора в виде второй гармоники по звуковой частоте. Аналогичным образом можно выделить третью, четвертую и пятую гармоники, для чего надо изменить настройку контура.

Метод выделения заданных гармоник (гармонический метод) отличается постоянством спектра по диапазону, в итоге чего суммарная тембровая окраска, образуемая в процессе исполнения, значительно отличается от того, что получается при выделении формант.

Среди других факторов, определяющих тембр звучания, надо отметить, во-первых, форму возникновения (атаки) и затухания звука и, во-вторых, наличие периодических изменений амплитуды или частоты (вибрато).

Для получения мягкого возникновения звука в терменвоксе предусмотрен каскад мягкой атаки с лампой $Л_4$. Это двухтактный усилитель низкой частоты, отличающийся тем, что при разомкнутом контакте K_2 на сетки триодов подается запирающий потенциал, возникающий за счет падения части анодного напряжения на сопротивлении R_5.

При замкнутом контакте K_2 напряжение на сетках триодов уменьшается. Наличие сопротивления R_7 и конденсатора C_9 позволяет получить постепенное изменение потенциала на сетках лампы $Л_4$, причем время возникновения звука пропорционально величинам R_7 и C_9. Переведя переключатель $П$ в положение *1*, мы увеличиваем емкость в цепи сеточной развязки и получаем возможность медленного нарастания звука, аналогичного атаке на духовых инструментах. Все щелчки, которые имели бы место при замыкании и размыкании ключа K_2 в однотактной схеме, здесь подавляются, поскольку эти помехи поступают на выход в обратных фазах.

В отличие от автоматического вибрато, широко применяемого в электрических органах, в терменвоксе вибрато образуется за счет легкого покачивания кисти руки, благодаря чему возникают периодические изменения частоты (частотная модуляция) в небольших пределах. Наивыгоднейшая частота вибрато лежит в пределах пяти — семи колебаний в секунду. Именно такое вибрато наблюдается у первоклассных певцов и скрипачей.

Управление громкостью звука у терменвокса чаще всего осуществляется при помощи педального потенциометра. Этот потенциометр представляет собой обычное непроволочное переменное сопротивление, изменяющееся по логариф-

мическому закону. Из имеющихся в ассортименте потенциометров можно рекомендовать сопротивление типа СП на 100 *ком* с предельно допустимой мощностью рассеяния 1 *вт*.

Конструкция педали для управления громкостью показана на рис. 9. Все динамические оттенки (фортиссимо, форте, меццо-форте, пиано и пианиссимо) выполняются при помощи педали.

Первым мастером выразительной игры на терменвоксе был и остался К. И. Ковальский, который выступал на эстраде совместно с такими выдающимися артистами, как В. В. Барсова и Н. А. Обухова.

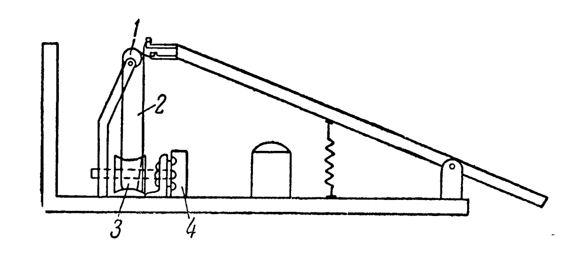


Рис. 9. Педаль для управления громкостью.
1 — ролик; *2* — струна; *3* — шкивок; *4* — переменное сопротивление.

Играть на терменвоксе можно только при наличии хорошего слуха и музыкального вкуса. Но и при этом условии еще нельзя рассчитывать на полноправное профессиональное применение инструмента без наличия большого практического опыта в исполнении музыкальных произведений.

ОДНОГОЛОСНЫЕ И ДВУХГОЛОСНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Терменвокс обладает некоторыми недостатками, из которых в первую очередь можно отметить трудность точной игры на инструменте и отсутствие возможности плавного перехода от звука к звуку (игра легато) без задевания промежуточных тонов.

Советскими изобретателями была проведена большая работа по конструированию грифовых инструментов, в которых частично или полностью устранялись эти недостатки терменвокса.

Одним из таких инструментов была виолена, которую изобрели в 1922 г. В. А. Гуров и В. И. Волынкин (рис. 10).

Особенностью этого инструмента являлся гриф в виде реостата.

В первом варианте виолены этот гриф служил для изменения тока подмагничивания стального сердечника, помещенного в катушке колебательного контура высокой частоты.

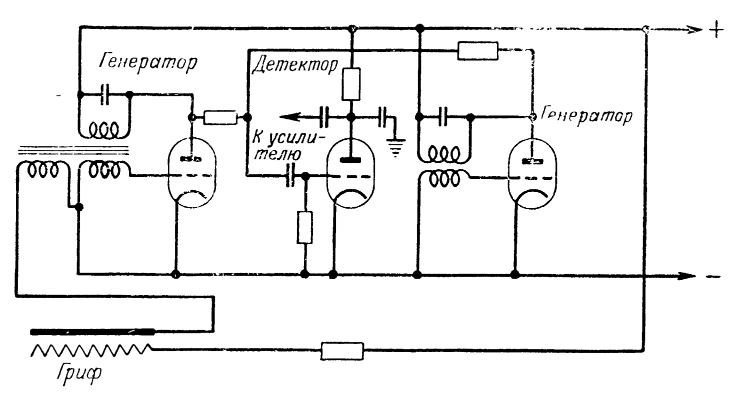


Рис. 10. Упрощенная схема виолены Гурова и Волынкина.

Гриф состоял из длинной трубки овального сечения. На ней была помещена обмотка из провода высокого сопротивления. Контактирующая поверхность состояла из галуна, пришитого к полосе из материи, и располагалась над обмоткой реостата (рис. 11).

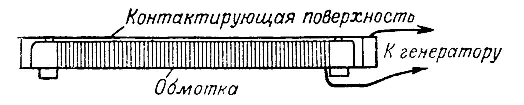


Рис. 11. Гриф-реостат.

Метод управления частотой при помощи подмагничивания сердечника считался в то время несовершенным из-за того, что наличие стали в катушке вызывало резкое уменьшение добротности контура. Теперь же, при наличии ферритовых сердечников, применение метода В. А. Гурова и В. И. Волынкина оказывается весьма перспективным.

В следующем варианте виолены В. А. Гуров применил генератор на лампе тлеющего разряда $Л_1$ (рис. 12).

Роль сопротивления в этом генераторе выполнялась лампой $Л_2$ (СБ-147), причем величина ее сопротивления зависе-

ла от потенциала на ее сетках. А этот потенциал в свою очередь менялся в зависимости от положения пальцев исполнителя на грифе. Таким образом, меняя небольшое (порядка 3 000 *ом*) сопротивление грифа, оказалось возможным управлять величиной более высокоомного сопротивления, которым являлось сопротивление лампы.

Этот вариант виолены обладал уже существенными преимуществами в отношении возможности формирования тембра. Большое количество гармоник, получающихся на выхо-

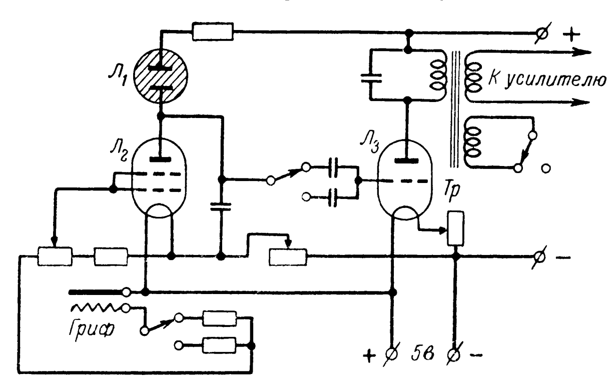


Рис. 12. Упрощенная схема виолены Гурова.

де генератора, позволило с успехом применить формантный метод управления тембром.

Выход генератора виолены соединялся через конденсатор небольшой емкости с сеткой лампы $Л_3$ (ПТ-2), в цепи которой не было утечки. Этим обеспечивалась возможность преобразования формы кривой из пилообразной в импульсную. Колебательный контур, помещенный в аноде лампы преобразователя, служил для выделения группы гармоник, попадавших в полосу пропускания этого контура.

Применение формантного метода позволяет получить весьма удачные имитации тембров деревянных духовых инструментов. Так, например, тембр фагота получается при настройке контура на 500 *гц*, а при настройке его на 1 000 *гц* получается тембр, похожий на тембр гобоя.

Звуковой эффект, напоминающий собой сурдину, получался в виолене при закорачивании дополнительной обмотки на формантном трансформаторе *Тр*.

Для получения сложных тембров применялось последовательное соединение нескольких формантных контуров. Та-

кой способ был использован в немецком одноголосном инструменте «Траутониуме», схема которого приведена на рис. 13. В этом инструменте колебания звуковой частоты, имеющие пилообразную форму, подаются с тиратрона $Л_1$ на первичные обмотки формантных трансформаторов $Тр_1$ и $Тр_2$ через конденсатор C и сопротивление R, величины которых подбираются с таким расчетом, чтобы ослабить шунтирующее действие сопротивления лампы на формантные контуры. Чем больше будет величина сопротивления R,

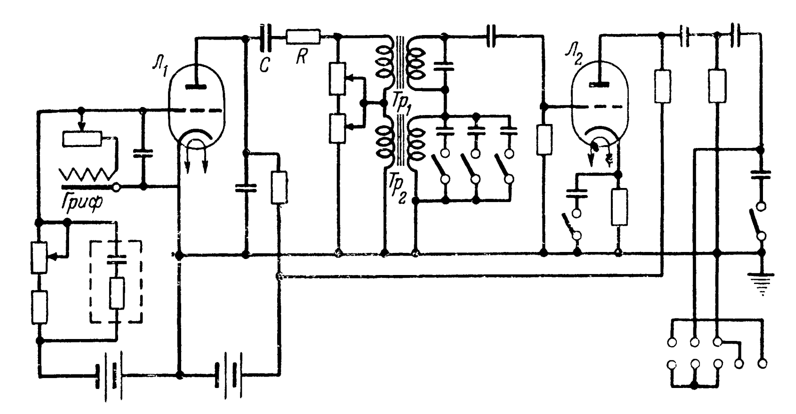


Рис. 13. Принципиальная схема „Траутониума".

тем острее окажется тембр. При подборе этого сопротивления надо, с одной стороны, избегать обезличения тембра, вызываемого слишком тупым резонансом, и, с другой стороны — не придавать тембрам чрезмерную остроту, при которой вместо музыкального звука получается нечто вроде мычания.

Вторичные обмотки резонансных трансформаторов соединяются последовательно и включаются в цепь сетки лампы $Л_2$ усилительного каскада. Каждая из вторичных обмоток настраивается конденсатором на определенную частоту.

Другой метод управления тембром — изменение характера возникновения и затухания звука — был впервые применен в 30-х годах в «Экводине» А. А. Володина и К. И. Ковальского и в «Эмиритоне» А. В. Римского-Корсакова, В. Л. Крейцера и А. А. Иванова.

Известно, что тон с определенным составом гармоник может звучать совершенно иначе, если вместо плавного, но достаточно быстрого возникновения и затухания этого звука

применить жесткое возникновение (жесткую атаку) и удлиненное затухание. В первом случае получается нечто вроде вдувания, как на деревянных духовых инструментах, а во втором звучание будет напоминать струнный инструмент с ударным или щипковым возбуждением.

Перемена характера возникновения и затухания звука на тембре гобоя позволяет преобразовать его в тембр старинного клавишного инструмента клавесина.

Для получения мягкой атаки звука А. А. Володин применял схему, показанную на рис. 14.

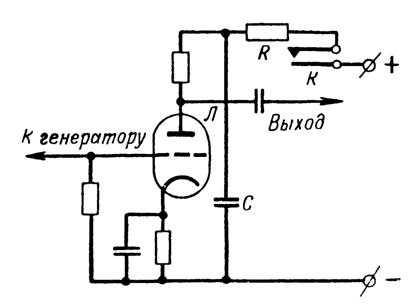


Рис. 14. Схема получения мягкой атаки звука.

При поднятой клавише *К* контакты разомкнуты и анодная цепь лампы *Л* не получает питания. При нажатой клавише контакты замыкаются и анодная цепь лампы подключается к источнику питания через сопротивление *R*. Скорость возникновения анодного тока в лампе *Л* в значительной мере определяется величинами сопротивления *R* и конденсатора *C* или, как говорят, постоянной времени цепи *RC*. Чем больше произведение этих величин, тем больше постоянная времени и тем дольше будет возникать звук.

Практически достаточно мягкая атака получается в тех случаях, когда произведение *RC* равно примерно 40. Здесь сопротивление выражается в килоомах, а емкость — в микрофарадах.

Для получения затухающих звуков применялось переключение конденсатора с заряда на разряд (рис. 15). При поднятой клавише *К* контакт *2* соединен с контактом *1* и конденсатор C_1 получает заряд от источника анодного напряжения. Когда же клавиша нажата, контакт *2* соединяется с контактом *3* и конденсатор включается в анодную цепь лампы *Л*.

При поднятой клавише анодный ток в лампе *Л* отсутствует, поскольку сопротивление R_1 не соединено с источником анодного напряжения. При нажатой клавише через лампу *Л* начинает проходить анодный ток, так как заряженный конденсатор C_1 обеспечивает появление положительного потенциала на аноде лампы. Но поскольку конденсатор на-

чинает разряжаться на четыре последовательно соединенные сопротивления (R_1, R_2, сопротивление анод — катод лампы и R_3), напряжение на аноде лампы падает и звук постепенно затухает.

Время затухания звука зависит не только от сопротивлений, на которые разряжается конденсатор, но и от емкостей конденсаторов.

В одноголосном грифовом электромузыкальном инструменте НИМИ (1936 г.) управление устанавливающимися процессами (атакой и затуханием) выполнялось путем запаздывающего включения цепи автоматического смещения лампы усилителя (рис. 16).

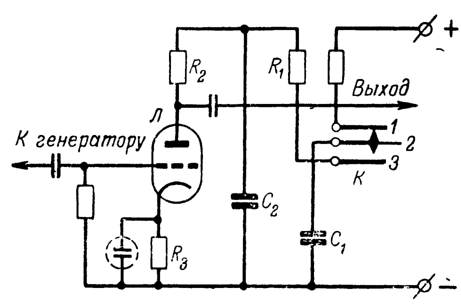


Рис. 15. Схема для формирования затухающих звуков.

Время атаки звука определяется здесь главным образом величинами R и C_1, а время затухания зависит от емкости конденсатора C_2, шунтирующего контакты клавиши K, расположенные под грифом. В тех случаях, когда применялся усилитель звуковой частоты с большим коэффициентом усиления, в громкоговорителе все же прослушивались щелчки, возникавшие в момент замыкания контактов. Наиболее полное подавление этих щелчков получается при наличии двухтактного каскада атаки, примененного в терменвоксе (см. рис. 5).

Формирование затухающих звуков можно выполнить и без ламповых генераторов, применяя схему, предложенную в 1915 г. Миллером (рис. 17).

Здесь в исходном состоянии контакты клавиши K замкнуты и на контуре LC имеется напряжение порядка сотых долей вольта. При размыкании контактов контур получает ударное возбуждение и совершает затухающие колебания. Испытание этой схемы показало, что в нижнем регистре можно получить тембр, напоминающий звучание литавр.

Интересный эффект получается при подаче от генераторного устройства звуковой частоты на два канала, в каждом из которых имеются самостоятельное тембровое устройство с регулировкой атаки и затухания, усилитель и громкогово-

ритель. Такая двухканальная схема применялась в инструменте НИМИ.

Одним из способов изменения тембра является применение амплитудной или частотной модуляции. В одноголосном клавишном электромузыкальном инструменте «компанола», выполненном в 1938 г. в акустической лаборатории Московской консерватории, частота релаксационного генератора

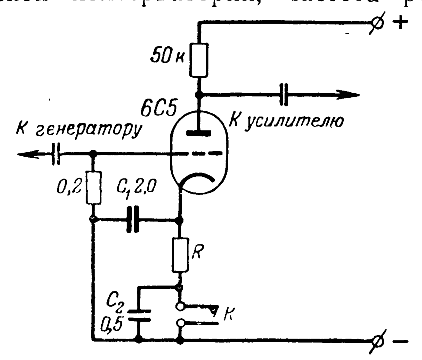


Рис. 16. Управление атакой и затуханием в инструменте НИМИ.

Рис. 17. Схема Миллера.

при помощи соответствующего включения становилась качающейся (рис. 18).

Генератор подтональной частоты (порядка 6 *гц*) этого инструмента воздействует на цепь управляющей сетки лампы релаксационного генератора. В зависимости от величины и знака напряжения, поступающего на эту сетку, изменяется и основная частота релаксатора.

Степень связи между генераторами зависит от положения педального реостата *П*, при помощи которого глубина качания (вибрато) может плавно меняться от нуля до максимума.

Включив модулирующее устройство в цепи усилителя, можно получить амплитудную модуляцию, дающую эффект громкостного вибрато.

Компанола была первым клавишным электромузыкальным инструментом, применявшимся у нас в концертной практике. В дальнейшем возникла тенденция к совмещению клавиатуры и грифа в одном инструменте. Это вызывалось тем, что исполнение беглых технических пассажей оказывалось более доступным при игре на клавиатуре. А. А. Володин в инструментах В-7 и В-8, а также А. В. Римский-Корсаков, А. А. Иванов и В. П. Дзержкович в эмиритоне применили комбинацию грифа с клавиатурой.

В процессе разработки клавишных электромузыкальных инструментов вполне естественно возникал такой вопрос.

У исполнителя имеется всего десять пальцев. Следовательно, максимальное количество клавиш, которое он может нажать одновременно, тоже будет равно десяти. Необходимость в одновременном звучании десяти тонов встречается в музыкальных произведениях очень редко. Нельзя ли в таком случае построить многоголосный клавишный инструмент с сокращенным числом генераторов?

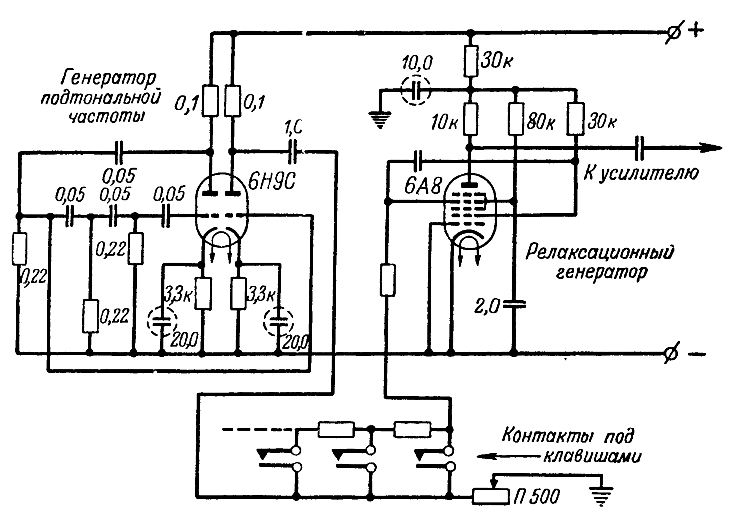


Рис. 18. Формирование вибрирующего звука.

Для проверки этого в 1948 г. в акустической лаборатории Московской консерватории был выполнен новый инструмент (компанола-2), содержавший восемь генераторов, разбитых на четыре дуэта. При построении компанолы-2 предполагалось, что таким образом удастся создать более или менее компактный инструмент для аккомпанемента. Клавиатура диапазоном в четыре октавы была разбита на четыре отрезка (рис. 19), причем каждый отрезок клавиатуры обслуживался двумя генераторами. При нажиме на одну клавишу оба генератора давали одну и ту же частоту. В случае нажима двух клавиш в компаноле-2 совершался переход к двухголосию, причем один из генераторов автоматически оказывался верхним, а другой — нижним голосом.

В практике исполнительской работы на электромузыкальных инструментах применяются два термина: прямое выбирание и обратное выбирание.

Для пояснения этих терминов рассмотрим, как изменяется высота тона на скрипке. Музыкант, играющий на этом инструменте, получает звук нужной высоты, прижимая соответствующий отрезок струны к грифу. Чем длиннее струна, тем ниже будет звук. Если же скрипач прижмет струну к грифу одновременно в двух точках, то будет колебаться только та ее часть, которая ограничена на грифе положением пальца, наиболее близко расположенного по отношению к смычку. При этом из двух звуков, соответствующих нажатым точкам на грифе, будет получаться только один, определяемый наиболее короткой действующей частью струны. Следовательно, из двух звуков автоматически выбирается верхний.

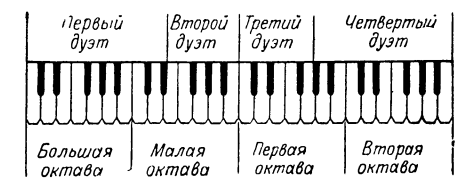


Рис. 19. Диапазоны дуэтов в компаноле-2.

Теперь представим себе, что на жильной струне *1* (рис. 20), натянутой между двумя точками, помещена обмотка *2* из провода высокого сопротивления. Снизу провод очищен от изоляции, поэтому, нажимая на струну, мы получим электрическое соединение между обмоткой *2* и контактирующей поверхностью *3* этого струнного реостата. Если контактирующая поверхность и правый (по рис. 20) конец обмотки включены в цепь генератора, то при нажиме на струнный

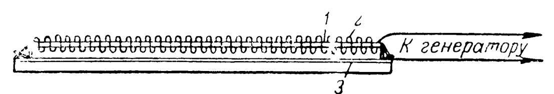


Рис. 20. Струнный реостат.

1 — струна; *2* — обмотка; *3*— контактирующая поверхность.

реостат одновременно в двух точках величина его сопротивления будет определяться правой действующей точкой. Это и будет случай прямого выбирания. Прямым оно названо потому, что здесь имеется более или менее прямая аналогия со скрипкой.

Обратным выбиранием называется такой случай, когда при двух нажатых точках высота тона определяется крайней левой из них. Учитывая, что на электромузыкальных инструментах частота колебаний увеличивается по мере перемещения пальца вправо по поверхности грифа, можно опреде-

лить, что при обратном выбирании будет действовать звук, наиболее низкий, в отличие от прямого выбирания.

Рассмотрим конкретную схему, в которой использованы свойства как прямого, так и обратного выбирания (рис. 21). Контактные группы K_1, K_2 и K_3 расположены под клавиатурой. При нажиме на клавишу осуществляется замыкание контактов *1-2* и *3-4*. Зажимы *5-6* присоединяются к первому генератору звуковой частоты, частота колебаний в котором управляется путем изменения величины сопротивления, причем с увеличением этого сопротивления частота уменьшается, а высота тона понижается.

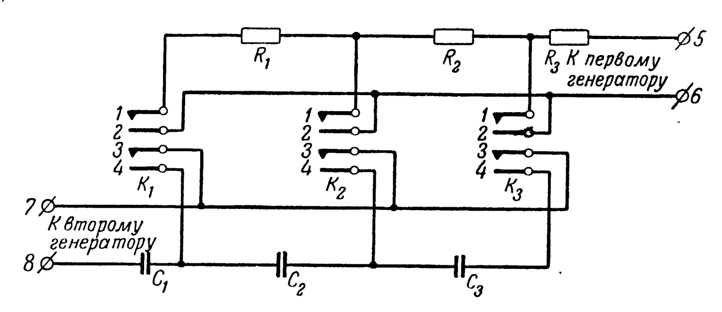


Рис. 21. Схема для включения двухголосия.

Допустим, что контактные группы K_1 и K_2 включены путем нажатия на соответствующие клавиши. Сопротивления R_1 и R_2 тогда окажутся включенными между зажимами *5-6*. Действующие же контакты группы K_1 не внесут изменения сопротивления между зажимами *5-6*. Вследствие этого частота колебаний первого генератора будет определяться крайней правой клавишей (прямое выбирание).

Во втором генераторе звуковой частоты, присоединенном к зажимам *7-8*, изменение частоты его колебаний осуществляется за счет изменения емкости в его контуре, причем частота генератора увеличивается при уменьшении емкости.

Допустим, что нажата клавиша, приводящая в действие контактную группу K_1. Тогда конденсатор C_1 окажется включенным между зажимами *7-8*. Одновременное нажатие на группу K_2 никаких изменений емкости, включенной между зажимами *7-8*, не создает. Поэтому одновременное нажатие нескольких клавиш приведет к тому, что фактически действующей окажется только одна из них, а именно крайняя левая, соответствующая нижнему звуку (обратное выбирание). В итоге при двух нажатых клавишах мы можем полу-

чить два любых звука, причем первый генератор дает звук верхнего, а второй генератор — нижнего голоса.

Таким образом, при наличии двух генераторов, частоты которых управляются этой клавиатурой, удалось получить возможность игры в два голоса в пределах заданного диапазона. Главным недостатком этого устройства оказалось отсутствие возможности выделения по громкости любого из этих двух звуков.

В 1948 г. А. А. Володин разработал и выполнил двухголосный инструмент В-8. Высота тона одного голоса управлялась при помощи грифа, а другого — клавиатурой.

Большинство изобретателей не уделяло внимания построению электромузыкальных инструментов со стабильной генераторной основой. Вопрос о стабильности строя заслуживает того, чтобы остановиться на нем несколько подробнее.

При определении норм этой стабильности надо считаться с несколькими факторами. Во-первых, надо определить, в каких пределах можно допустить уход частоты для электромузыкальных инструментов. Известно, что минимальное изменение частоты, при котором человек, обладающий музыкальным слухом, может заметить повышение или понижение тона, составляет 0,3%. Отсюда следует, что точность ±0,15% оказывается необходимой и достаточной для того, чтобы уход частоты генератора не повлиял на чистоту музыкального строя.

Противники жестких требований часто ссылаются на то, что у скрипки величина натяжения струны снижается на протяжении сравнительно короткого промежутка времени. Но при сопоставлении электромузыкального инструмента со скрипкой надо учесть следующее. Изменение высоты тона при ослаблении натяжения струны не вызывает изменения расстояния, необходимого для того, чтобы взять нужный интервал. При любом натяжении октава останется октавой. Не то мы наблюдаем в одноголосных электромузыкальных инструментах. Здесь уход частоты генератора сопровождается неравномерным изменением высоты тона в различных точках грифа.

Для получения того же интервала октавы может потребоваться большее расстояние между пальцами в одном месте грифа и меньшее — в другом. Это обстоятельство накладывает дополнительные требования в отношении стабилизации частоты.

Недостаточная стабильность строя является первой причиной, препятствующей широкому распространению одноголосных электромузыкальных инструментов. Другим недостатком таких инструментов надо считать плохое легато. Игра способом легато заключается в выполнении плавных переходов от одного звука к другому. Легато — основной способ исполнения мелодии.

Что же происходит при смене звуков в одноголосном электромузыкальном инструменте? Резкое изменение емкости или сопротивления в цепи генератора вызывает появление неприятного, антимузыкального призвука — щелчка. Для смягчения этого щелчка в немецком грифовом инструменте траутониуме применялась цепь задержки переходного процесса, состоящая из конденсатора и сопротивления (рис. 22). При этом устранялся щелчок, но возникала другая неприятность. Переход от звука к звуку сопровождался неизбежным глиссандированием (скольжением частоты). А в процессе исполнения глиссандо далеко не всегда оказывается уместным.

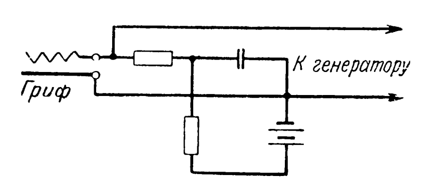


Рис. 22. Смягчение щелчка в „Траутониуме".

Многие исполнители на грифовых электроинструментах заглушали щелчки путем запаздывающего нажима на педаль. Но и это не оказалось хорошим выходом из положения, поскольку ослабление громкости в конце предыдущего звука и увеличение ее в начале последующего неизбежно нарушали принцип легато, вызывая провал по громкости в момент перехода. Таким образом, можно констатировать, что вопросы о стабильной генераторной основе и хорошем легато еще не получили достаточно удовлетворительного решения в применении к одноголосным электроинструментам.

ЭЛЕКТРОННЫЙ ГАРМОНИУМ

Переходя к описанию многоголосных электромузыкальных инструментов надо прежде всего отметить, что в отношении управления высотой тона они не отличаются от таких инструментов, как рояль и орган.

Разработанный и выполненный Всесоюзным научно-исследовательским институтом звукозаписи многоголосный

клавишный инструмент электронный гармониум доступен для любого пианиста. Первое принципиальное отличие гармониума от любого одноголосного инструмента состоит в том, что в нем для каждого звука применяется самостоятельный генератор. Это позволяет получить стабильные фиксированные частоты и добиться лучших результатов в отношении точности музыкального строя. При такой системе автоматически решается задача получения звучания любой комбинации клавиш. Число клавиш, которые исполнитель может привести в действие одновременно, при этом ограничивается числом пальцев музыканта.

При наличии самостоятельных регуляторов громкости под каждой клавишей эта система позволяет получить более музыкальные переходы от звука к звуку, чем в одноголосных грифовых инструментах. Кроме того, наличие самостоятельных регуляторов громкости обеспечивает возможность динамического выделения мелодии или ведущего голоса. В случае отсутствия таких регуляторов звучание инструмента может оказаться недостаточно выразительным, поскольку вся современная музыкальная литература написана с расчетом на возможность динамического выделения ведущего голоса.

Основой электронного гармониума является его генераторное устройство. При конструировании инструмента в основу действия его звуковысотной части был положен принцип общей настройки всех одноименных звуков.

Мы уже упоминали о том, что одноименными называются звуки, имеющие одно и то же слоговое обозначение. Например, все звуки «до» считаются одноименными. Соотношения частот между одноименными звуками выражаются следующим образом: если частоту нижнего звука мы обозначим f, то ряд одноименных звуков будет выражаться как: $2f$, $4f$, $8f$, $16f$ и т. д. Если мы обозначим буквой f верхний из одноименных звуков, то этот ряд звуков будет выражаться как: $f/2$, $f/4$, $f/8$ и т. д. Отсюда ясно, что для осуществления общей настройки одноименных звуков надо применить либо умножение, либо деление частоты.

Простейшая схема умножения частоты представляет собой двухполупериодный выпрямитель. Если на выходе такого выпрямителя выделить переменную составляющую, то ее частота будет вдвое больше частоты, чем на его входе.

Блок-схема устройства для умножения частоты в электромузыкальных инструментах показана на рис. 23. Генератор настроен на звук «до» большой октавы (65,4 *гц*). Пере-

менное напряжение с частотой 65,4 *гц* подается на вход первого умножителя частоты. На выходе этого умножителя появляется удвоенная частота, которая в свою очередь удваивается вторым умножителем, и т. д. Таким образом, образуется цепочка одноименных звуков.

Настраивая нижнее «до», мы получаем автоматическую подстройку всех звуков «до», имеющихся на клавиатуре. Такая настройка гораздо проще, нежели настройка рояля, где, во-первых, сама система крепления струны не оказывается вполне устойчивой, и, во-вторых, для настройки каждой

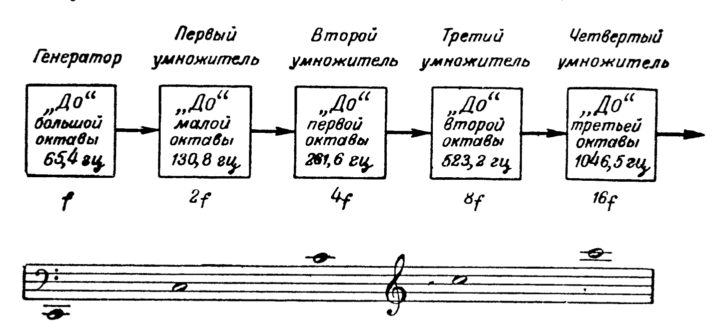


Рис. 23. Блок-схема устройства для умножения частоты.

клавиши необходимо повернуть три колка, на которых крепятся струны.

Другой способ общей настройки одноименных звуков основывается на применении не умножителей, а делителей частоты. Известно, что неустойчивый релаксационный генератор (мультивибратор, блокинг-генератор, транзитронный релаксатор и др.) можно стабилизировать по частоте, если на сетку лампы такого генератора подать напряжение от стабильного генератора, частота которого превышает частоту стабилизируемого генератора в n раз, где n — целое число. Такое воздействие стабильного генератора на неустойчивый называется синхронизацией частоты.

Блок-схема цепочки одноименных звуков с применением делителей частоты приведена на рис. 24. Генератор создает колебания с частотой, соответствующей одному из звуков верхней октавы. Обозначим эту частоту буквой f. Первый делитель настраивается так, чтобы его собственная частота находилась ниже частоты генератора на интервал, несколько превышающий октаву (октава плюс малая терция). При этом выход генератора не должен соединяться со входом

первого делителя. Таким образом, звук, получаемый от первого делителя, будет ниже звука генератора на интервал, превышающий октаву.

Далее, выход генератора соединяют со входом первого делителя, подбирая связь между ними так, чтобы на выходе первого делителя появился звук, лежащий на октаву ниже звука, образованного генератором. После настройки и синхронизации первого делителя переходят к последовательной настройке и синхронизации остальных звеньев цепочки одноименных звуков. Очевидно, что для образования всех звуков

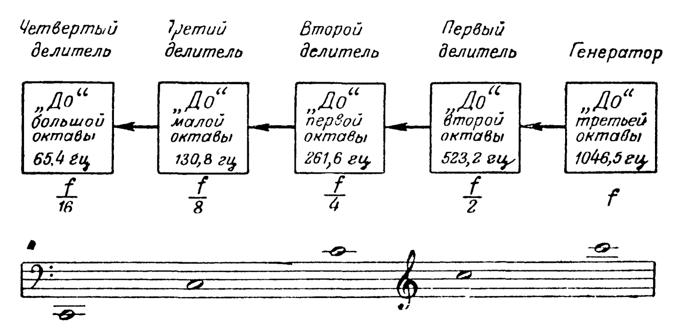


Рис. 24. Блок-схема устройства для деления частоты.

клавишного инструмента число таких цепочек должно быть равно 12.

Применение методов умножения и деления частоты обладает следующими несомненными достоинствами:

1. Генераторная основа состоит только из 12 стабильных генераторов.

2. Настройка всего инструмента выполняется путем изменения параметров 12 генераторов. В случае надобности инструмент может быть настроен в строях, свойственных народной музыке.

3. На выходе каждого умножителя или делителя частоты можно получить как основной тон, так и его обертоны, что создает возможность управления тембром.

При делении частоты легче обеспечить достаточную стабильность, чем при умножении, поскольку для диапазона верхней октавы (2 093—3 951 *гц*) проще сконструировать хороший колебательный контур, чем для нижней октавы (32,7—61,74 *гц*).

В электронном гармониуме каждый из 12 генераторов верхней октавы собран по транзитронной схеме. Действие

такого генератора было вкратце пояснено на стр. 15, где разбирался принцип работы терменвокса.

Схема генератора приведена на рис. 25. Частота колебаний в основном зависит от индуктивности L и емкости C контура. Конденсатор C_0 обеспечивает обратную связь, необходимую для поддержания колебаний в контуре LC. Вторая и четвертая сетки, соединенные внутри лампы, выполняют ту же функцию, какую выполняла третья сетка (анод гетеродина) в генераторе терменвокса. Выходное напряжение с генератора подается в сеточную цепь первого делителя через конденсатор синхронизации C_c.

В электронном гармониуме применяются индуктивности порядка 0,15 *гн*. Каждая из 12 катушек намотана на каркасе, форма которого показана на рис. 26,*а*. Каркас с обмоткой вставляется в замкнутый карбонильный сердечник типа СБ (рис. 26,*б*).

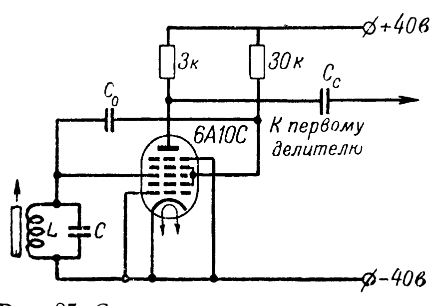


Рис. 25. Схема транзитронного генератора.

Емкость конденсатора подбирается в зависимости от частоты необходимого звука. Для получения звуков, соответствующих звукам верхней октавы рояля, емкость берется в пределах 0,01—0,04 *мф*.

Делитель частоты представляет собой релаксационный генератор на лампе 6А10С. Его схема показана на рис. 27 (справа).

Настройка октавного делителя выполняется в следующем порядке. Телефон или громкоговоритель присоединяют к основному генератору и прослушивают соответствующий, заранее настроенный звук верхней октавы. Затем телефон или громкоговоритель подключают к делителю частоты и настраивают его на звук, лежащий на октаву ниже исходного. При этом конденсатор синхронизации должен быть отключен. Далее, понижают тон делителя на малую терцию. Вместо конденсатора синхронизации временно включается градуированный конденсатор переменной емкости и при его помощи восстанавливается октавный тон.

Проверка работы делителя состоит в определении диапазона его собственных частот, в пределах которого сохраняется октавное деление. При наличии переменного конден-

сатора синхронизации и переменного сопротивления в цепи управляющей сетки лампы делителя эта операция выполняется следующим образом. При емкости конденсатора, установленной в положении октавного деления, начинают уменьшать величину сопротивления и ставят его рукоятку на верхнюю границу октавного деления. Далее, отключая емкость синхронизации, определяют интервал по звуку вверх. Затем опять включают конденсатор синхронизации и поворотом рукоятки переменного сопротивления находят нижнюю границу срыва октавного деления. После этого, отключив конденсатор синхронизации, определяют интервал по звуку вниз.

Сложив полученные величины, получают полный интервал, характеризующий диапазон собственных частот делителя и обеспечивающий октавное деление. Хорошо налаженный делитель должен обладать диапазоном собственных частот порядка октавы.

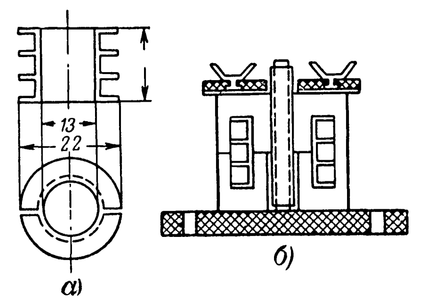


Рис. 26. Катушка генератора гармониума.

а — каркас катушки; *б* — катушка в собранном виде.

Настройка следующих по порядку делителей производится аналогичным образом.

С выхода каждого генератора или делителя электронного гармониума колебания звуковой частоты поступают на клавишный трансформатор. В первом варианте инструмента этот трансформатор состоял из двух небольших катушек, связь между которыми увеличивалась по мере нажима на клавишу.

Устройство такого клавишного трансформатора показано на рис. 28. Над рычажком *1*, при помощи которого изменяется взаимоиндукция между катушками *2* и *3*, укреплена изогнутая по радиусу лопаткообразная пружина *4*, а над ней — другая прямая или изогнутая пружинящая пластина *5*. При нажиме на клавишу *6* рычажок, поворачивающийся на шарнире *7*, поднимается вверх посредством толкателя *8*. Пружина *4* сначала производит слабое давление на рычажок, а затем оно увеличивается.

Ощущение промежуточного упора под пальцем, соответствующего громкости на 10—14 *дб* меньше максимальной, создается в момент соприкосновения пластин *5* с пружи-

ной *4*. Последующее нажатие на клавишу требует большего усилия.

Для полного устранения звука при поднятой клавише введено замыкание входной катушки при помощи контактов.

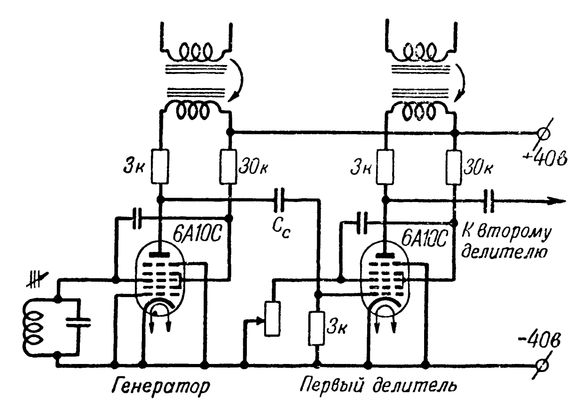


Рис. 27. Схема генератора и делителя частоты.

Это замыкание происходит на уровне —45 *дб* от максимального.

Применение клавишного трансформатора с движущимися катушками позволяет выполнить клавиатуру сравнитель-

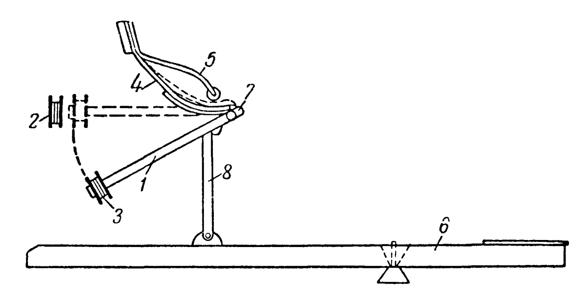


Рис. 28. Первый вариант клавишного трансформатора.
1 — рычажок; *2* и *3* — катушки; *4* — пружина; *5* — пружинящая пластина; *6* — клавиша; *7* — шарнир; *8* — толкатель;

но простыми средствами. Однако наличие гибких соединительных проводов создает некоторые неудобства в его эксплуатации. Кроме того, из-за небольшого числа витков первичной катушки получается заваливание низких частот.

Во втором варианте клавишного трансформатора применены две магнитофонные головки с движущимся экраном (рис. 29).

Магнитные головки *Г* с большим числом витков установлены так, чтобы зазор одной головки находился против за-

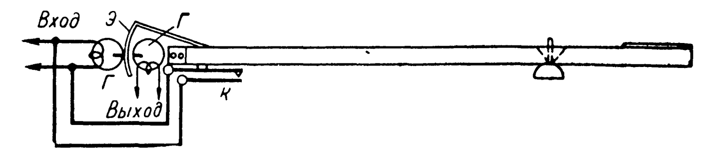


Рис. 29. Клавишный трансформатор с магнитными головками. *Г* — магнитные головки; *Э* — экран; *К* — клавишный контакт.

зора другой. Задние зазоры при этом устранены. Экран *Э* движется вверх по мере нажима на клавишу. Таким образом, удается выполнить пальцевое управление громкостью

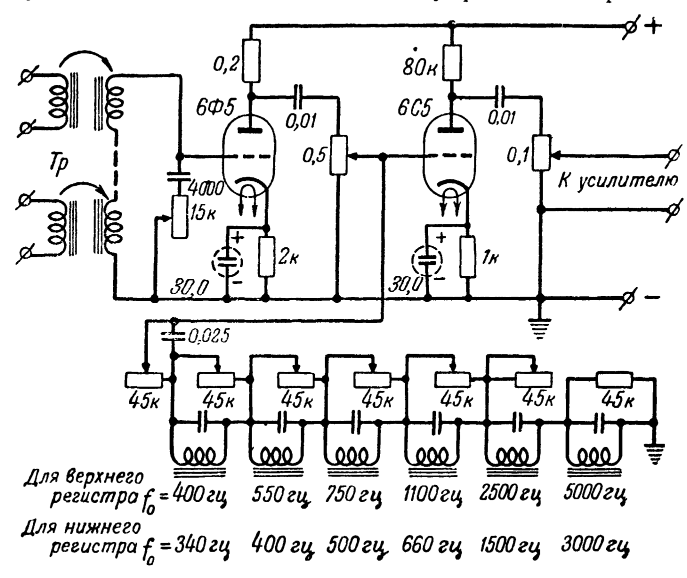


Рис. 30. Первый вариант схемы темброблока.

без применения движущихся проводов или трущихся контактов. Следует указать, что контакт *К*, замыкающий одну из головок на уровне —40 *дб*, все же оказывается необходимым.

Тембры электронного гармониума образуются при помощи формантного устройства. Первый вариант темброблока был выполнен по простой схеме (рис. 30).

Вторичные обмотки клавишных трансформаторов *Тр* соединяются в пределах данного диапазона последовательно и присоединяются ко входу двухкаскадного усилителя.

В сеточной цепи второго триода включены формантные контуры, соединенные последовательно. Управление амплитудами формант осуществляется при помощи переменных сопротивлений, шунтирующих контуры. Такое управление нельзя признать достаточно совершенным, так как при уменьшении величины сопротивления падает добротность контура. Тем не менее эта простая схема работает неплохо и может быть рекомендована для выполнения.

Более совершенная, но и более сложная схема управления формантами показана в упрощенном виде на рис. 31. В ней для каждой форманты предусмотрен отдельный усилитель с регулятором. В таком тембровом устройстве смешивание тембров производится более полноценно и независимо.

Другое тембровое устройство электронного гармониума предназначено для получения вибрато.

В первом варианте с использованием частотной модуляции применялась реактивная лампа, выходная цепь которой была связана с контуром генераторной лампы (рис. 32).

В сеточную цепь реактивной лампы подается от генератора переменное напряжение подтональной частоты (порядка 6 *гц*). В зависимости от этого напряжения меняется емкость, вносимая реактивной лампой в контур, что вызывает

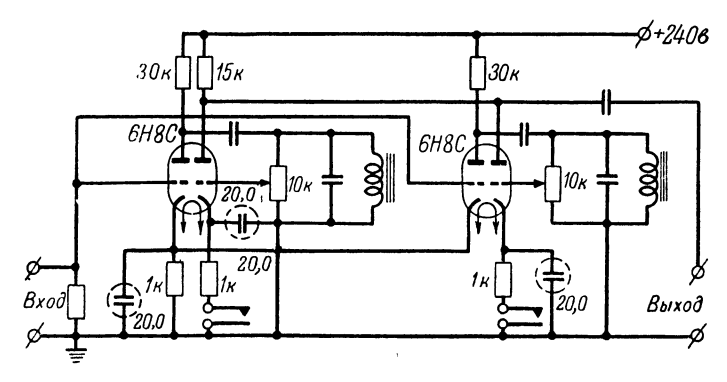


Рис. 31. Второй вариант схемы темброблока.

периодическое изменение частоты генератора, и звук начинает вибрировать. Громкостное вибрато можно получить, подавая переменное напряжение подтональной частоты в цепь сетки усилительной лампы с переменной крутизной. Громкостное вибрато звучит менее интересно, чем высотное, которое формируется методом частотной модуляции.

Опыты, однако, показали, что наибольшая полнота звучания имеет место при образовании вибрирующего звука методом двухточечного унисона.

Унисоном называется исполнение одной и той же партии несколькими инструментами или голосами. Получение унисонного звучания средствами современной электроники представляет особый интерес, так как при решении этой проблемы на электромузыкальном инструменте можно будет получить звучание, близкое к оркестровому.

Доминирующее значение для образования унисона, по-видимому, имеет разница по высоте звука между отдельными составляющими унисона. Примером улучшения тембра при помощи унисона может служить рояль, где на каждую клавишу ставится по три струны. Абсолютно точная настройка всех трех струн на какую-либо частоту практически оказывается невозможной. Небольшая взаимная расстройка между струнами, относящимися к одной клавише, приводит к явному улучшению тембра рояля.

Для имитации унисона средствами электроники пришлось применить устройство для перестановки частот, действие которого основано на использовании схемы телефонирования одной боковой полосой частот.

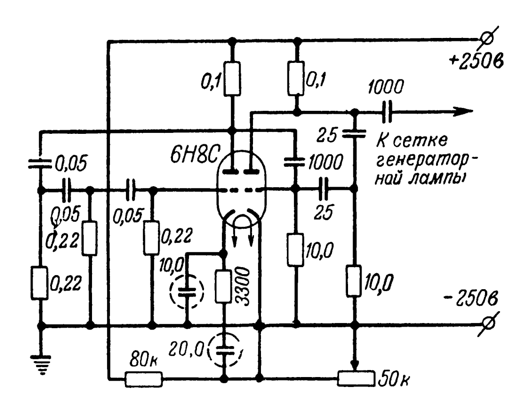


Рис. 32. Схема для получения вибрато методом частотной модуляции.

Блок-схема такого устройства представлена на рис. 33. Электронный гармониум *1* образует колебания звуковой частоты. После усилителя *2* эти колебания воздействуют на балансный модулятор *3*, к которому подается также напряжение несущей частоты от генератора *4*. Фильтр *5* подавляет одну из боковых полос. После этого фильтра выделенная боковая полоса воздействует на детектор *6*, с которым связан генератор *7*, частота которого имеет незначительную

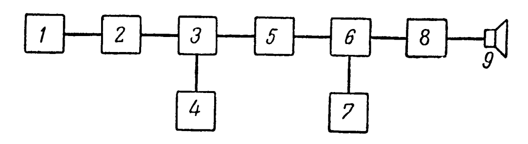


Рис. 33. Блок-схема унисонного устройства.

1 — электронный гармониум; *2* — усилитель; *3* — балансный модулятор; *4* — генератор несущей частоты; *5* — фильтр; *6* — детектор; *7* — второй генератор; *8* — усилитель низкой частоты; *9* — громкоговоритель.

расстройку по отношению к частоте генератора *4*. В итоге биений между выделенной боковой полосой частотой и генератором *7* после усилителя *8* и громкоговорителя *9* можно получить необходимый сдвиг звуковой частоты. Одновременное звучание основного источника наряду со сдвинутой звуковой частотой дает эффект биений или двухточечный унисон.

При правильном подборе режима унисонного аппарата в процессе биений возникает вибрато по высоте, громкости и тембру. Схема унисонного вибрато оказывается универсальной, поскольку при помощи нее можно получить двухточечный унисон не только для электромузыкальных, но и для обычных инструментов.

Вполне вероятно, что в процессе дальнейшей работы удастся создать эффект многоточечного унисона, что позволит расширить звуковые возможности как электромузыкальных, так и обычных оркестровых инструментов.

АДАПТЕРИЗОВАННЫЕ МУЗЫКАЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ

Адаптеризованные музыкальные инструменты составляют довольно многочисленную и весьма разнородную группу инструментов, у которых колебания механических вибраторов (струн, резонансных дек и т. п.) преобразуются в колебания электрические.

Собственно говоря, адаптеризованными следовало бы назвать такие музыкальные инструменты, которые могут быть использованы как с электрическим трактом, так и без него. К ним можно отнести рояли, гитары, виолончели и другие инструменты, снабженные механико-электрическим преобразователем (адаптером), усилителем и громкоговорителем. В таких случаях адаптеризация служит в основном средством повышения уровня силы звука, а следовательно, и расширения динамического диапазона.

Для некоторых инструментов, в частности для гитары, обладающей очень красивым, но довольно слабым звуком, адаптеризация имеет явный практический смысл. Динамический диапазон гитары равен всего 14 *дб*.

Что касается таких инструментов, как «немая» гитара с адаптером, электророяль или электроорга́н с язычками, то их следовало бы назвать электромузыкальными инструментами с адаптерами. Без электрического тракта они не могут быть использованы. Это уже не «электрификация» обычных, а создание новых музыкальных инструментов.

Основным звеном в электрической цепи всех инструментов с механическими вибраторами является адаптер, преобразующий механические колебания в электрические. Адаптеры для электромузыкальных инструментов могут быть различных типов: электродинамическими, электромагнитными и электростатическими.

Устройство электродинамического адаптера показано на рис. 34. Катушка *1* из двух секций намотана на деревянном каркасе *2*. Внутри катушки помещается амортизатор *3* в виде резиновой прокладки в один слой толщиной около 1 *мм*, внутрь которого вставляется постоянный магнит *4* цилиндрической формы длиной 20 *мм* и диаметром 8 *мм*. Магнит должен плотно и надежно держаться в резиновой трубке. Он выполняется из сплава альнико или альни. Каждая секция катушки имеет по 2 000 витков провода ПЭЛ 0,08.

Деревянный каркас катушки приклеивается к корпусу инструмента. Выбор места установки адаптера производится опытным путем с тем, чтобы получить достаточно мощные колебания, сохраняя при этом удобства исполнения. Для инструментов щипковых (гитара, балалайка, банджо и пр.) наиболее удобным местом для крепления адаптера является головка инструмента у колков.

Принцип работы электродинамического адаптера заключается в следующем. При игре колеблются (с различными амплитудами, конечно) все части корпуса инструмента.

Вместе с корпусом совершает колебания и катушка. Для получения э. д. с. в катушке, находящейся в поле постоянного магнита, необходимо либо чтобы катушка была неподвижна и двигался магнит, либо, наоборот, чтобы двигалась катушка, а магнит был неподвижен. В электродинамическом адаптере движутся и катушка и магнит, но благодаря разности масс и резиновому амортизатору магнит отстает в своих колебаниях от катушки и за счет этого отставания в ее витках возбуждается э. д. с.

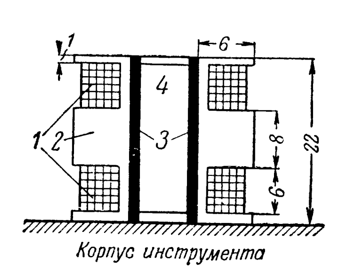


Рис. 34. Электродинамический адаптер.
1 — катушка; 2 — каркас; 3 — амортизатор; 4 — магнит.

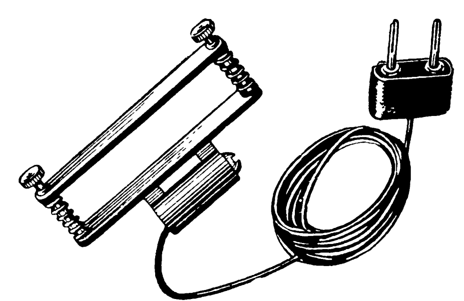


Рис. 35. Крепление электродинамического адаптера.

Крепление адаптера на головке удобно, так как при этом он не мешает исполнителю и не портит инструмента. В отношении же отдачи и качества звучания наилучшим местом является верхняя дека инструмента.

Можно соединять адаптер с инструментом и иначе. Адаптер помещается внутри металлического экрана, а экран при помощи хомутика и двух винтов (рис. 35) укрепляется на головке инструмента. Такое соединение является более сложным по выполнению, но вместе с тем более удобным, так как дает возможность быстро снимать и надевать адаптер не только на данный инструмент, но и на другие.

Отдача электродинамического адаптера, помещенного на головке щипкового музыкального инструмента, довольно мала (3—4 *мв*). К недостаткам такого адаптера относится также снижение отдачи на высоких звуковых частотах, так как выше некоторой частоты, определяемой массой магнита и гибкостью резиновой прокладки, отдача начинает падать. Преимуществом же его являются независимость от типа струн инструмента и удобство крепления почти в любой точке корпуса.

В инструментах со стальными струнами лучше применять адаптер электромагнитного типа. Отдача его достаточно велика (не менее нескольких десятков милливольт).

Электромагнитный адаптер располагается непосредственно под струнами. В этой системе струна является якорем, а адаптером служит обычный поляризованный электромагнит. При колебаниях стального якоря вблизи полюсов поляризованного электромагнита в катушках последнего наводится э. д. с., так как вследствие беспрерывного изменения сопротивления магнитного пути витки катушек находятся под воздействием пульсирующего магнитного поля.

Ниже приводится описание конструкции электромагнитного адаптера, разработанного Е. Прохоровым для гитары.

Адаптер (рис. 36) состоит из отдельных стержневых магнитов с катушками, устанавливаемых под каждой струной. Магниты крепятся к стальной пластине и расстояния между ними соответствуют расстояниям между струнами. Катушки наматываются проводом ПЭЛ 0,05 и соединяются между собой последовательно. Общее сопротивление обмоток составляет около 1 000—1 500 *ом*. На концах пластины имеются алюминиевые лапки, при помощи которых адаптер прикрепляется к подставке гитары. Высота магнитов должна быть несколько меньше высоты подставки для получения необходимой величины зазоров между струнами и концами магнитов.

Выбор величины зазоров диктуется, с одной стороны, необходимостью получения достаточной величины напряжения с адаптера, что возможно при сравнительно малом зазоре. С другой стороны, зазоры должны быть достаточно велики, чтобы даже при игре фортиссимо не происходило задевания струн о полюсы магнитов. Кроме того, изменяя зазоры между каждым магнитом и соответствующей струной, можно выровнять звуковую отдачу по всему диапазону инструмента, подчеркнуть, если нужно, звучание той или другой струны, смягчить излишне громко звучащую струну и т. д.

Электромагнитный адаптер является наиболее удобным для щипковых музыкальных инструментов вследствие его достаточно большой чувствительности, простоты устройства и надежности в работе.

Для некоторых электроорганов находят применение адаптеры электростатического типа. Остановимся вкратце на устройстве такого адаптера.

В качестве вибраторов органов применяются латунные

язычки. Латунный язычок имеет вид, показанный на рис. 37. Рамка *1* язычка *2* жестко соединена с корпусом инструмента, а язычок совершает свободные колебания под действием воздушного потока от мехов, приводимых в действие в простейшем случае ногами исполнителя, а в более совершенных конструкциях — электродвигателем. Если установить на некотором расстоянии, определяемом амплитудой колебаний язычка, какую-либо неподвижную металлическую пластину или диск, то образуется воздушный конденсатор с одним колеблющимся электродом, напоминающий собой обычный конденсаторный микрофон.

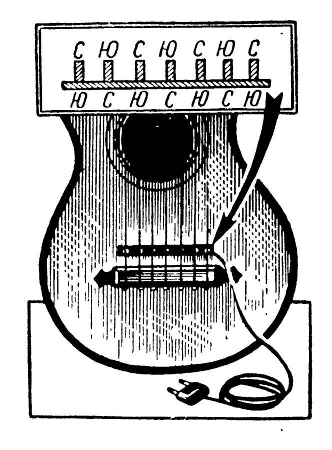


Рис. 36. Электромагнитный адаптер.

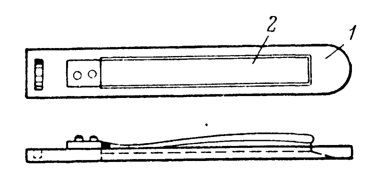


Рис. 37. Латунный язычок органа
1 — рамка; *2* — язычок.

На рис. 38 изображена низкочастотная схема включения электростатического адаптера *А*, состоящего из неподвижного более массивного электрода — основания и гибкого латунного язычка, играющего роль мембраны. Адаптер включен в цепь последовательно с сопротивлением нагрузки *R* и батареей *Б*. При колебаниях язычка изменяется емкость адаптера, что вызывает появление на сопротивлении *R* переменной разности потенциалов, передаваемой затем через конденсатор *С* на сетку усилительной лампы.

Благодаря малой емкости адаптер имеет очень большое внутреннее сопротивление (особенно на нижних звуковых частотах), что вызывает необходимость включения большого сопротивления *R*, а кроме того, наличия весьма тщательной экранировки всех частей адаптера и подводящих проводов.

На рис. 39 показана высокочастотная схема включения электростатического адаптера. Генератор высокой частоты (около 1,8 *Мгц*) собран по трехточечной схеме на лампе 6С5. Адаптер *А* включен в контур этого генератора (массивная неподвижная обкладка адаптера заземлена). При работе

музыкального инструмента емкость адаптера изменяется, что приводит к колебаниям частоты генератора в такт со звуковой частотой. Таким образом, напряжение, развиваемое генератором высокой частоты, модулируется по частоте. С контуром генератора связан контур дискриминатора, собранного на лампе 6Х6С. Конденсатор *C* служит для настройки обоих контуров в резонанс. Настройка производится до модуляции, т. е. до работы инструмента. Дискриминатор преобразует колебания частоты в колебания амплитуды. Напряжение высокой часто-

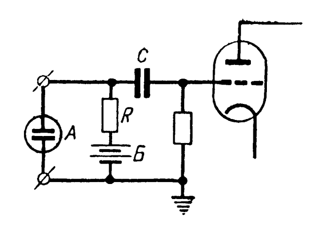


Рис. 38. Низкочастотная схема включения электростатического адаптера.

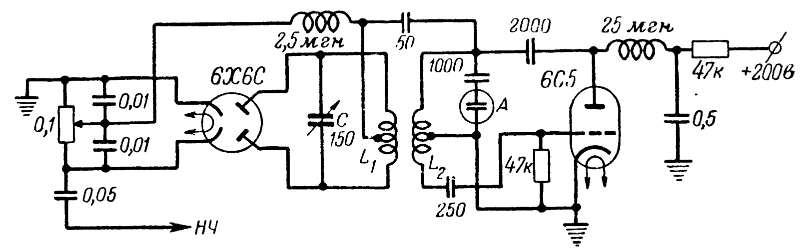


Рис. 39. Высокочастотная схема включения электростатического адаптера.

ты, модулированное уже по амплитуде, детектируется, и на выходе дискриминатора получается напряжение звуковой частоты. В данном устройстве катушки L_1 и L_2 содержат по 50×2 витков провода ПЭЛ 0,3, намотанных на каркасе диаметром *3* и длиной 15 *см*.

КРАТКИЙ ОБЗОР ЗАРУБЕЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ОРГАНОВ

Обзор патентной и периодической литературы дает представление о современном состоянии развития электромузыкальных инструментов за рубежом. Основное внимание зарубежных конструкторов обращено на разработку многоголосных клавишных инструментов типа органа. Как правило, эти инструменты имеют по две и более ручные клавиатуры и одну ножную. Наиболее сложные модели должны по замыслам конструкторов наилучшим образом имитировать звучание духовых органов, а потому и управление

ими делается во многом подобным управлению, принятому в обычных органах. Подавляющее большинство электроорганов является чисто электронными инструментами, и лишь некоторые фирмы выпускают электромеханические органы.

Задача построения электрооргана как инструмента многотембрового решается в основном двумя различными путями. В большинстве зарубежных электрических музыкальных инструментов применяется формантный метод создания тембров как более пригодный по утверждению ряда конструкторов для имитации тембров духовых органов.

Из электрических органов, в которых применяется гармонический метод синтеза тембров, наиболее известны орган Хаммонда (США) и «Полихорд» конструктора Гаральда Бодэ (ФРГ).

В органе Хаммонда в качестве тональных генераторов использованы электромеханические генераторы переменного тока, состоящие из вращающихся стальных роторов и неподвижных поляризованных электромагнитов. Двенадцать роторов по числу звуков в октаве жестко закреплены на одном валу. Число валов зависит от звуковысотного диапазона инструмента, числа клавиатур и пр. Каждый ротор снабжен по краю определенным числом зубцов в зависимости от заданной высоты тона. Валы соединены между собой зубчатой передачей. Против каждого ротора расположен электромагнит, катушка которого при работе инструмента (т. е. при вращении ротора) пронизывается силовыми линиями пульсирующего магнитного поля. Благодаря этому в ней возникает переменная э. д. с. с частотой, зависящей от числа зубцов ротора и скорости вращения вала.

Нажатие клавиши подключает катушку соответствующего электромагнита к усилителю и вызывает, таким образом, звучание тона определенной высоты. Громкость звука зависит от положения ножной педали, общей для всего электрооргана.

В органе Хаммонда, как уже было сказано, применен гармонический метод синтеза тембров, но со значительными изменениями, вызванными требованиями упрощения конструкции. Вместо гармонических составляющих, числа колебаний которых, как известно, в целое число раз больше числа колебаний основного тона, для синтеза тембров используются сами звуки инструмента.

Для органа Хаммонда, как и для всякого современного клавишного инструмента, настройка выполнена в 12-ступенном равномерном темперированном строе, в котором октава

делится на 12 равных частей—полутонов. При этом частоты не всех составляющих сложного тембра будут в целое число раз больше частоты основного тона. Для получения точно настроенных гармоник третья и шестая темперированные составляющие должны быть несколько повышены, а пятая—довольно значительно понижена. Эта неточность настройки нарушает впечатление слитного тембра, особенно если амплитуды этих неточных составляющих значительны.

При включении и выключении звуков органа Хаммонда слышны довольно неприятные щелчки. Для некоторого их смягчения в инструмент введено дополнительное устройство для получения так называемой искусственной реверберации.

Сущность такого устройства заключается в том, что после надлежащего усиления сигналы подаются на два канала (основной и дополнительный). Во втором канале напряжение звуковой частоты раскачивает электродинамический вибратор, который в свою очередь связан со стальной пружиной. Другой конец пружины связан с пьезоэлектрическим адаптером, подключенным ко входу усилителя второго канала. Электродинамический вибратор играет в данном случае роль преобразователя, превращающего электрические колебания в механические.

По первому каналу (электрическому) колебания проходят практически мгновенно, а по второму (электромеханическому) — с запозданием, так как скорость распространения колебаний по стальной пружине сравнительно невелика (10—15 *м/сек*).

Дойдя до конца пружины, импульс отразится и пойдет обратно, но уже в ослабленном виде, так как коэффициент отражения пружины меньше единицы. Можно приблизительно считать, что в описываемой конструкции коэффициент отражения равен 0,5 и каждое последующее отражение будет по уровню ниже предыдущего на 6 *дб*. Этот ряд последовательных отражений с уменьшающейся по определенному закону амплитудой аналогичен многократному отражению звука в большом незаглушенном помещении. Выходы обоих усилителей соединяются между собой и подключаются на вход общего мощного блока. По желанию эффект искусственной реверберации может быть либо подчеркнут, либо смягчен регулировкой величины усиления в усилителе дополнительного канала.

Искусственная реверберация несколько смягчает щелчки от включения и выключения отдельных звуков электрооргана, но все-таки не устраняет их совсем.

Из других зарубежных электроорганов наиболее интересными (если судить по их описаниям) являются органы Миншелла, Аллена (США) и «Полихорд» (ГФР).

В отношении схем основных генераторов в настоящее время обнаруживается значительное единообразие. Почти во всех современных зарубежных электроорганах используется для этой цели трехточечная схема с индуктивной связью с теми или иными ее видоизменениями.

В большинстве конструкций эта схема применена для 12 генераторов самых высоких частот диапазона инструмента. Остальные, более низкие звуки получаются путем последовательного деления частоты каждый раз на два (октавное деление).

В органе Миншелла (рис. 40) после основного генератора следует каскад преобразования формы кривой напряжения. В этом каскаде синусоидальное напряжение после генератора преобразуется в напряжение пилообразной формы. Затем идут четыре каскада делителей частоты, каждый из которых делит частоту подаваемого сигнала на два и работает на половине двойного триода типа 12AX7. Диапазон устойчивого деления несколько больше половины октавы. Вибрато осуществляется путем колебаний анодного напряжения с частотой 5—8 раз в секунду, что соответственно меняет частоту генераторов. Это обстоятельство не может не вызвать некоторого сомнения в отношении стабильности генераторов по частоте.

Принцип работы делителей частоты можно вкратце определить следующим образом. Выходное напряжение каскада заряжает конденсатор, включенный между анодом и катодом лампы. Напряжение, соответствующее первой гармонике сигнала, подается обратно на сетку лампы с такой скоростью и в такой фазе, что лампа запирается через один входной импульс. Таким образом, импульсы выходного напряжения следуют друг за другом с частотой, вдвое меньшей, чем импульсы предыдущего делителя или (в первом делителе) после преобразователя.

В описании, откуда заимствована приведенная схема, указывается, что данные всех деталей схемы некритичны, за исключением сопротивлений R, равных 0,5 *Мом.*

После делителей напряжения звуковой частоты подаются на дифференцирующие цепи R_1C_1—R_5C_5, которые служат для обострения формы кривой (что необходимо для более четкой работы формантных контуров) и выравнивания звуков инструмента по громкости.



Рис. 40. Схема генератора и делителя частоты органа Миншелла.

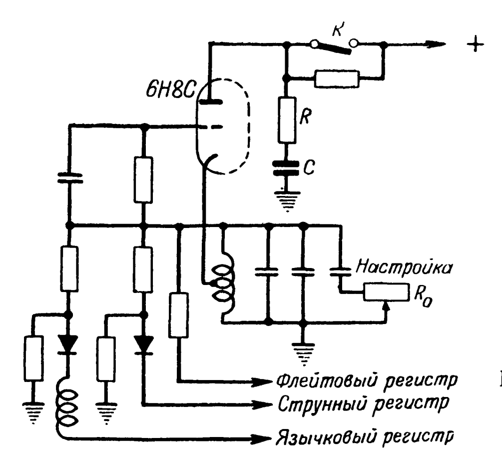


Рис. 41. Схема основного генератора органа Аллена.

В электроорганах Аллена нет делителей частоты и каждый генератор настраивается самостоятельно (рис. 41) при помощи переменного сопротивления R_0. Общие для ряда звуков формантные блоки в органах Аллена отсутствуют и тембровые различия достигаются преобразованием формы кривой каждого генератора в отдельности. Для этой цели, как видно из схемы, служат катушки индуктивности, конденсаторы, сопротивления и купроксные элементы. Все однотипные по форме напряжения со всех генераторов (что соответствует звукам схожего тембра) объединяются в один регистр (по органной терминологии). Эти регистры включаются ручками управления, помещенными на консоли перед исполнителем.

В отличие от органа Миншелла, где во избежание щелчков напряжения звуковой частоты включаются через цепи RC по переменному току, в органах Аллена, как видно из схемы, для этого применяется включение анодного напряжения через цепь RC. Эта схема обеспечивает отсутствие щелчков при нажиме клавиши K и, кроме того, дает плавное затухание звука после ее поднятия.

В органах Аллена своеобразно разрешена проблема получения вибрирующих звуков. Для этой цели все громкоговорители, связанные через тембровые блоки и усилители с ручными клавиатурами, помещаются на дисках, вращающихся от электродвигателей с различной скоростью. При вращении с малой скоростью (1—2 *об/сек*) происходят медленные и непрерывные изменения фазы звуковых колебаний. Это по замыслу конструкторов должно оживить звук

и придать ему сходство с органным звучанием. При скорости же вращения 5—7 *об/сек* получается впечатление вибрирующего звука. Вращающийся диск, на котором смонтированы громкоговорители, связан ременной передачей с валом шунтового электродвигателя постоянного тока.

Электроорганы делаются различных размеров и сложности. Некоторые модели органов Миншелла, например, делаются только с одной ручной клавиатурой. Более сложные модели выполняются той же фирмой с двумя ручными и одной ножной клавиатурами.

Фирма Аллена выпускает свои наиболее сложные модели с тремя ручными и одной ножной клавиатурами.

Громкость звука во всех электрических органах регулируется специальной ножной педалью.

Автор статьи, в которой описываются органы Аллена, указывает, что высокая стабильность генераторов в этих органах определяется большой добротностью катушки контура, которая в свою очередь достигается тем, что катушки не имеют стального сердечника и намотка их выполнена по способу «универсаль».

В настоящей брошюре были приведены описания ряда устройств для получения в электромузыкальных инструментах вибрирующих звуков. Для тех конструкций, где стабильность генераторной основы не очень высока, пригодны схемы с изменением смещения на сетке или аноде генераторных ламп. В тех случаях, когда стабильность основных генераторов значительна, больше подойдет схема частотной модуляции с реактивной лампой (см. рис. 32). Если же генераторная основа состоит из генераторов очень высокой стабильности, в частности если имеется дополнительная стабилизация при помощи камертонов, кварца и пр., то ни одна из указаных выше схем уже не подойдет. В этом случае нужно применять схему с перестановкой частоты (см. рис. 33).

Эта схема, однако, довольно сложна. Облегченным ее вариантом может служить схема с использованием фазовой модуляции. Такая схема впервые была применена в одном из небольших американских электроорганов фирмы Вурлицер. В органе, о котором идет речь, в качестве стабилизаторов частоты применены стальные язычки.

Для уяснения схемы с фазовой модуляцией обратимся к рис. 42. Здесь напряжение звуковой частоты от источника *1* подается на два устройства, которые, не меняя ни частоты, ни амплитуды подаваемого напряжения, производят отно-

сительный сдвиг фаз так, что на выходе устройства *3* сигнал оказывается сдвинутым по фазе относительно сигнала на выходе устройства *2* на 90°.

Оба сигнала подводятся к концам потенциометра *4*. Если движок потенциометра неподвижен, то сигнал на выходе будет казаться неизменным по высоте независимо от места предварительной установки движка. Но если во время звучания движок двигать от средней точки вверх, затем — вниз и т. д. и эти периодические движения совершать 6—7 раз в секунду, то звук будет казаться вибрирующим по высоте. Объясняется это тем, что при положении движка в точке *а* сигнал совпадает с одной фазой, а при положении движка в точке *б* сигнал будет идти с отставанием по фазе на 90°. Во всех промежуточных точках фаза сигнала постепенно меняется между этими крайними значениями.

Известно, что слушателю, воспринимающему звук, постоянный по частоте, но переменный по фазе, этот звук кажется изменяющимся по высоте. На этом основан эффект кажущегося повышения высоты паровозного гудка при приближении паровоза к наблюдателю и понижения высоты гудка при удалении паровоза, в то время как частота гудка все время остается неизменной.

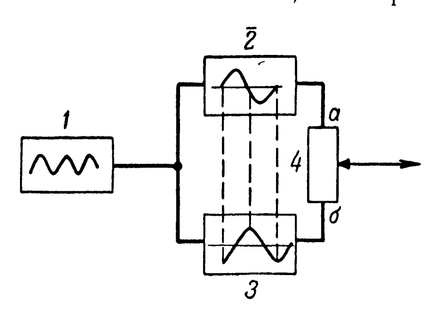


Рис. 42. Пояснение принципа фазовой модуляции.

При приближении к наблюдателю происходит опережение фазы каждого последующего колебания относительно предыдущего, т. е. каждая фаза звуковых колебаний (будь то максимальное сгущение воздушных частиц, либо их максимальное разрежение, либо любая промежуточная точка) доходит до слушателя несколько скорее, чем это было бы при неподвижном паровозе. Это вызывает ощущение повышения тона гудка. При удалении паровоза, наоборот, происходит отставание фазы каждого последующего колебания относительно предыдущего, что вызывает ощущение понижения тона гудка.

Имея это в виду и обращаясь снова к схеме рис. 42, видим, что при периодическом плавном перемещении движка от точки *а* к точке *б* и обратно, т. е. при фазовой моду-

ляции сигнала, звук, слышимый при этом в громкоговорителе, должен казаться вибрирующим по высоте.

В действительности в полной схеме фазовой модуляции (рис. 43) нет никаких механических перемещений. Весь процесс модуляции совершается при помощи электронных ламп. Первая задача, следовательно, заключается в том, чтобы в двух точках схемы создать постоянный сдвиг фаз на 90°.

В схеме рис. 43 первый каскад на лампе $Л_1$ является фазоинвертором. При помощи цепей из сопротивлений и конденсаторов, подключенных к катодной цепи лампы, в точках *А* и *Б* создается постоянный сдвиг фаз на 90° независимо от частоты подаваемого сигнала.

Конечно, сдвиг по фазе каждого из отдельных сигналов при этом все время меняется (относительно входного сигнала), но это не играет никакой роли, так как относительный фазовый сдвиг (в точках *А* и *Б*) остается постоянным и равным 90°.

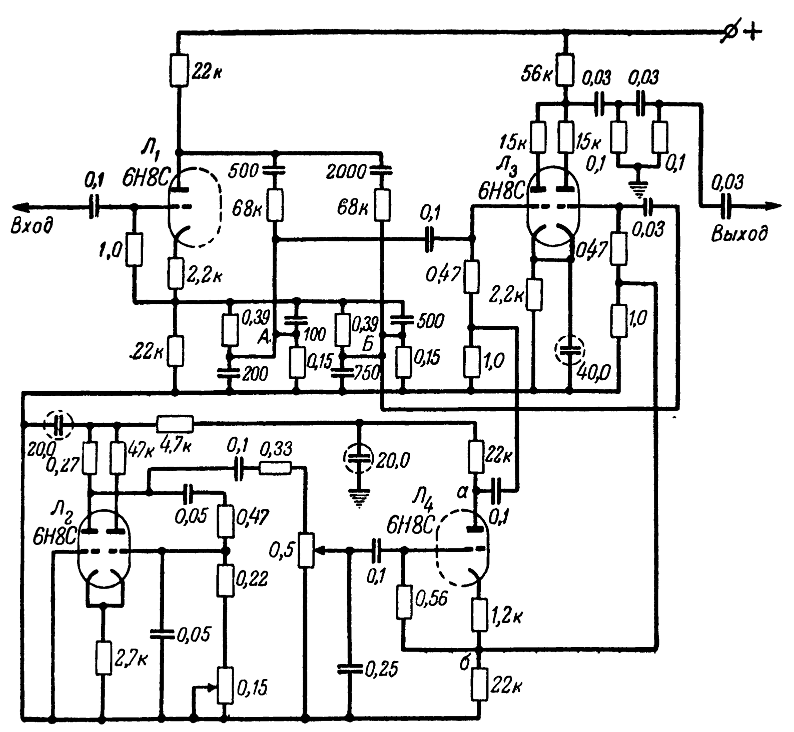


Рис. 43. Схема для получения вибрато методом фазовой модуляции.

Лампа $Л_2$ работает в качестве генератора подтональной частоты (5—7 *гц*).

Триод $Л_4$ является фазоинвертором для генератора подтональной частоты. В точках *а* и *б* фазоинвертора колебания подтональной частоты имеют относительный фазовый сдвиг на 180°. Отсюда переменные напряжения подводятся к сеткам лампы, играющей роль электронного переключателя.

При увеличении усиления левого триода этой лампы уменьшается усиление правого триода, и наоборот. Таким образом, на выходе получается сигнал с непрерывно меняющимся относительным фазовым углом. Фильтр из сопротивлений и конденсаторов, включенный в анодных цепях лампы $Л_3$, необходим для уничтожения толчков с частотой вибраций.

В электроорганах «Полихорд» проблема создания различных тембров разрешена несколько своеобразно. Эти органы, как и органы Хаммонда, используют в общем гармонический метод синтеза тембров. Но для того, чтобы избежать недостаточной слитности тембра, в органах «Полихорд» сложные тембры составляются не из синусоидальных составляющих, а из отдельных компонентов, напряжения которых в свою очередь состоят из первой, более слабой второй и значительно более слабой третьей гармоник. В этом случае тембры сложных, составленных из этих несинусоидальных компонентов звуков гораздо больше похожи на тембры духовых органов.

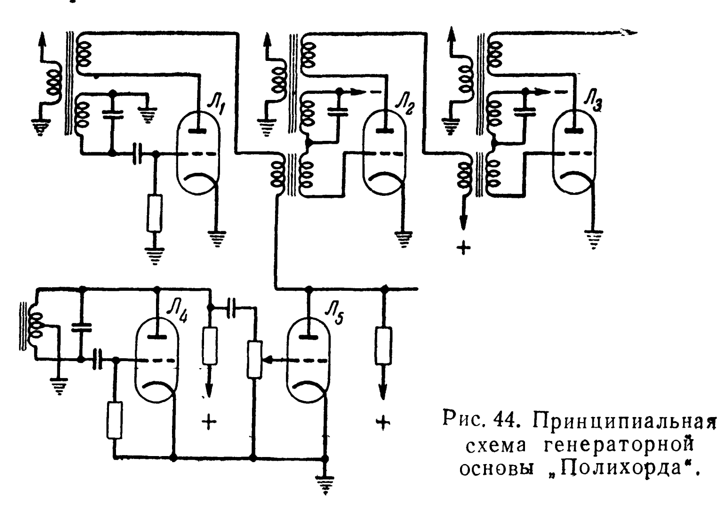


Рис. 44. Принципиальная схема генераторной основы „Полихорда".

На рис. 44 представлена схема основного генератора, двух делителей и генератора вибрато, являющихся основой генераторного устройства органа «Полихорд». Вибрато в этих инструментах осуществляется путем периодического изменения анодного напряжения с частотой подтонального генератора ($Л_4$). При этом периодически меняется частота основного генератора ($Л_1$).

Французский журнал Revue du Son № 5 за 1955 г. почти целиком посвящен электромузыке. В нем помещены фотографии моделей французских электрических органов. В статье излагаются некоторые данные исторического характера относительно развития электромузыки во Франции, а также даются некоторые сведения технического и музыкального характера о современных французских электрических музыкальных инструментах.

На рис. 45 представлена принципиальная схема генератора звуковой частоты, являющегося основой генераторной части большого французского электрооргана конструкции Констана Мартэна. Схема генератора в основном схожа со схемами генераторов, применяемых в американских электроорганах. Схема включения подобна схеме, приведенной в описании органов Аллена.

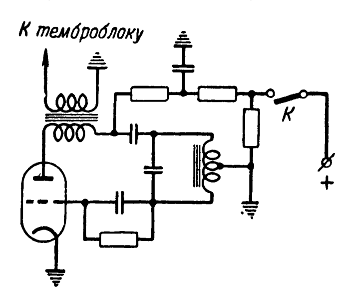


Рис. 45. Схема генератора органа Мартэна.

Схема генератора и первого делителя частоты французского органа, предназначенного для исполнения легкой музыки, приведена на рис. 46. Это известная схема генератора на RC с поворотом фазы. Подстройка генератора производится сопротивлением R_1, а делителя — сопротивлением R_2. Контакты включения K_1 и K_2 связаны с клавиатурой.

Рис. 47 представляет собой схему генератора и устройства для плавного включения звуков музыкального инструмента через диоды. Запертые первоначально диоды отпираются при замыкании контактов K_1 и K_2, связанных с клавиатурой инструмента. Схема генератора, как и во многих прежних устройствах, является трехточечной схемой с индуктивной связью.

Подводя итоги приведенному выше кратному рассмотрению некоторых зарубежных конструкций, можно отметить следующее.

Как с технической, так и с музыкальной сторон многие модели обладают рядом интересных особенностей; сюда относятся вращающиеся громкоговорители в органах Аллена, схема включения звуков во французском органе, искусственная реверберация в органах Хаммонда, разрешение тембровой проблемы в органе «Полихорд» и пр.

В отношении атаки звука надо сказать, что ни в одной мало-мальски значительной конструкции в настоящее время нет включения со щелчками, как это имеет место в электромеханических органах Хаммонда.

Если судить по литературе, то в последнее время к электромузыкальным инструментам предъявляются более высокие требования в отношении музыкального звучания, разнообразия тембров и пр.

Все же зарубежные конструкторы электроорганов, несмотря на разнообразие схем и часто интересные технические решения многих задач, недостаточно используют богатые возможности новой техники. Тембровые решения почти всегда ограничены желанием как можно ближе подойти к звучанию духового органа, и только. Расширение тембровой палитры в отношении создания новых звучаний, по-видимому, мало кого интересует. С этой стороны интереснее других, пожалуй, те инструменты, в которых использован метод гармонического синтеза. К сожалению, создание тембров только гармоническим методом ведет к некоторому «расползанию» звучания; звуки получаются недостаточно

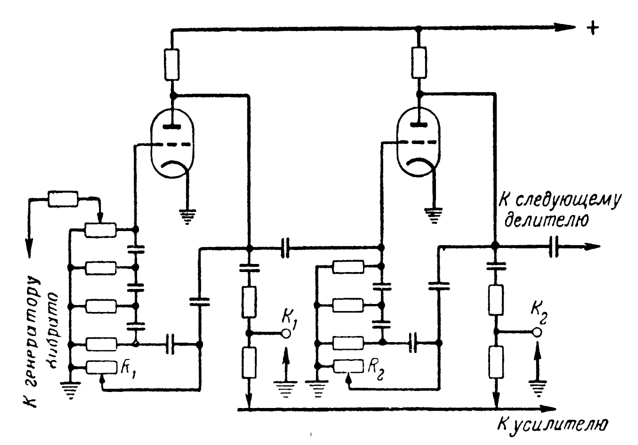


Рис. 46. Схема основного генератора и первого делителя органа, предназначенного для легкой музыки.

слитными по тембру. Здесь, пожалуй, мог бы помочь делу примененный дополнительно формантный метод, но органов, в которых тембры создавались бы при помощи обоих методов (гармонического и формантного), пока не существует.

Другой важный вопрос, до сих пор полностью не разрешенный ни в одной зарубежной конструкции,—это вопрос о пальцевом управлении громкостью каждого звука инструмента и связанной с этим управляемой атакой звука.

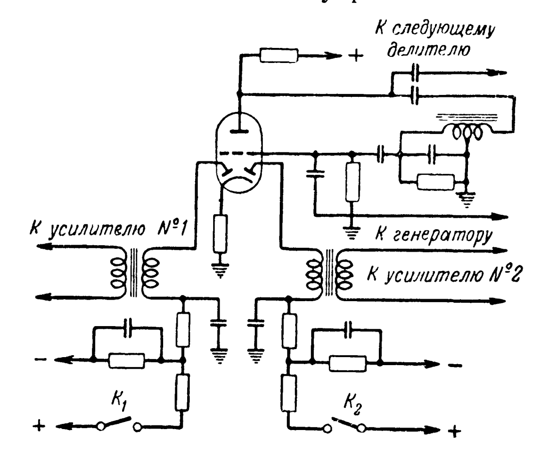


Рис. 47. Схема генератора и устройства для плавной атаки на диодах.

Трудно передать все богатство чувств и переживаний, заключенных в лучших образцах музыкального искусства, на инструментах, в которых нельзя на одной клавиатуре выделить и оттенить мелодическую линию, где нельзя подчеркнуть одни звуки в аккордах и ослабить другие, и т. п.

Призвать на помощь могучие средства современной техники только для того, чтобы более или менее удовлетворительно скопировать звучание духового органа,—этого недостаточно.

Электрические многоголосные клавишные музыкальные инструменты должны быть в состоянии создавать совершенно новые, ценные в музыкальном отношении тембры.

Управление всеми качествами звука, в том числе и громкостью, должно быть тонким и гибким, что (в отношении громкости) невозможно без пальцевого управления громкостью каждого звука инструмента

ПУТИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОМУЗЫКИ

Развитие электромузыкальных инструментов может идти по двум путям: 1) по пути имитации тембров существующих музыкальных инструментов и 2) по пути создания новых тембров.

Нужно сразу же сказать, что при имитации тембров существующих музыкальных инструментов конструкторы никогда не ограничиваются точной копией их со всеми присущими им прежними достоинствами и недостатками. Если говорить об имитации тембров деревянных духовых инструментов как наиболее удобных в этом отношении, то сразу же становится очевидным, что многие из недостатков, присущих этой группе, отпадают.

Общеизвестно, что долго слушать игру на деревянных духовых инструментах утомительно. Происходит это в основном из-за их малого динамического диапазона. В нижнем регистре им недоступно форте из-за опасности передувания. В верхнем регистре затруднено пиано. В общем выразительность мелодической линии получается крайне обедненной, несмотря на красивые и разнообразные тембры этой группы инструментов.

При электрическом воспроизведении тембров духовых деревянных инструментов эти недостатки снимаются полностью. Исполнителю доступны все градации динамического диапазона во всех регистрах. Второе обстоятельство, несколько снижающее впечатление от исполнения мелодии на деревянных духовых инструментах, — это отсутствие вибраций, придающих звуку певучесть.

И этот недостаток легко может быть восполнен электрическими средствами. Если прибавить к этому возможность унисонного звучания при игре одним исполнителем, а также отсутствие физического напряжения и связанной с ним необходимости паузы для отдыха исполнителя, то станет ясно, насколько значительна разница между ныне существующими деревянными духовыми инструментами и их электрическими аналогами.

Электрические музыкальные инструменты расширяют не только динамический, но и звуковысотный диапазон. Ведь для продления диапазона кларнетного тембра вниз применяется новый инструмент — бас-кларнет, для продления флейтового тембра вверх — малая флейта или флейта-пикколо и т. д. Электрический инструмент может значительно расширить звуковысотный диапазон всех деревянных духо-

вых инструментов, не теряя при этом их специфических тембровых особенностей.

Мы говорим здесь о деревянных духовых инструментах, поскольку имитация именно их тембров в настоящее время может считаться наиболее удовлетворительной.

Нельзя, впрочем, не считаться с тем, что прибавление к тембру кларнета, например, вибраций несколько приближает полученное звучание к смычковым инструментам.

Это относится и к другим инструментам деревянной группы. Современная техника дает возможность расширения выразительных средств существующих музыкальных инструментов.

Если применить метод унисона с расстройкой на 6—7 *гц* к любому деревянному или медному инструменту, то полученные вибрации должны значительно обогатить его тембр.

Красивый тембр валторны, например, при оживлении его вибрациями, несомненно, выиграет в певучести и выразительности.

Прежде чем говорить о путях создания новых тембровых красок, нужно сказать несколько слов об основных методах изменения тембра.

Существенным достоинством электромузыкальных инструментов является возможность получения различных тембров на одном и том же инструменте. Тембр звука зависит от ряда факторов, среди которых особое значение имеют спектральный состав звука (наличие тех или иных гармоник с различными амплитудами), характер возникновения и затухания звука и наличие изменений по высоте или громкости в процессе звучания.

Основные методы управления спектральным составом звука — это гармонический и формантный методы. Для пояснения этого вопроса вспомним два оркестровых инструмента: кларнет и фагот. Оба они принадлежат к группе язычковых духовых, но в тембровом отношении между ними есть одно принципиальное различие: фагот имеет явно выраженную форманту в области 500 *гц*, а для звука кларнета характерно выпадение значительного количества четных обертонов. Кларнет в этом отношении является единственным инструментом симфонического оркестра.

В электрических инструментах имеется полная возможность: 1) распространить метод гармонического синтеза кларнетного типа на весь звуковысотный диапазон; 2) применить другие типы гармонического синтеза, например октавный (2, 4 и 8-я гармоники) и др., и 3) соединить

достоинства обоих методов (гармонического и формантного).

В подавляющем большинстве случаев тембр существующих музыкальных инструментов не является вполне самостоятельным качеством звука, а зависит от других основных его качеств: громкости и высоты.

Как правило, с понижением высоты звука ниже некоторого предела роль первой гармоники (основного тона) в темброобразовании уменьшается, а высоких гармоник — увеличивается. С повышением звука в верхнем регистре число и амплитуда высоких гармоник уменьшаются, а относительная амплитуда первой гармоники увеличивается. Все это связано с механико-акустическими особенностями музыкальных инструментов как излучателей звуковых колебаний и изменено быть не может.

В частности, например, получение мощных колебаний сравнительно низкой частоты с достаточными амплитудами основных тонов в обычных инструментах крайне затруднено из-за сравнительно небольших размеров поверхности излучения по отношению к длине излучаемой волны.

В электрических инструментах многие из этих ограничений также могут быть преодолены и тембровые возможности, очевидно, будут расширены.

Из сказанного выше ясно, что, не говоря уже о множестве самых разнообразных градаций новых тембров, два конкретных решения могут внести новые краски в современную тембровую палитру:

1. Инструмент, в котором преобладают четные гармоники и, в частности, октавные гармоники (вторая, четвертая и восьмая). Нужно заметить, что экспериментально такое сочетание проверено и результат получился положительный.

2. Инструмент с густым и сочным басовым регистром за счет значительной амплитуды основных тонов.

Такой инструмент был бы прекрасной гармонической опорой в ансамблевом звучании. Кроме того, проведение мелодии в басу при этих условиях было бы весьма эффектным и достигалось бы более простыми средствами, чем обычно.

Помимо разработки новых устройств для управления стационарной частью звучания, будут, очевидно, совершенствоваться схемы управления атакой и затуханием звука.

Важной музыкальной задачей в области устанавливающихся процессов является разработка устройства для управления временем возникновения и затухания отдельных гармоник.

Наряду с этим, очевидно, будет продолжаться работа по развитию методов пальцевого управления уровнем громкости. В инструментах с таким управлением можно достигнуть весьма тонкого управления громкостью. Индивидуальные особенности исполнителя при этом выявляются наиболее отчетливо, поскольку работа клавиши отчасти оказывается подобной работе смычка.

В техническом отношении очень интересно сочетать пальцевое управление громкостью с бесконтактной системой ее регулирования.

Надо сказать, что весьма значительное количество тембров, полученных в электромузыкальных инструментах, оказывается пригодным для музыкальной практики, но сами инструменты получаются в большинстве случаев слишком сложными и не слишком надежными. Естественно, что преодоление подобных недостатков может в значительной мере определить судьбу новых инструментов.

В этом отношении большие перспективы открываются в связи с развитием техники полупроводников. С другой стороны, нельзя забывать и об адаптеризованных инструментах. Такой вибратор, как камертон, возбуждаемый ударом, в сочетании с адаптером, тембровым устройством и усилителем может оказаться хорошей и надежной основой для электромузыкальных инструментов.

Очень интересный объект для дальнейших исследований представляет собой автоматическое вибрато. Большая гибкость средств, представляемых современной электроникой, позволяет, например, выполнить инструмент, в котором вибрато оказывается пространственным. Усиление звучания на одном динамике происходит в этом случае одновременно с понижением уровня громкости на другом. Понятно, что такое пространственное вибрато невыполнимо на обычных инструментах.

Очень интересно развить работу и в области трембрового вибрато. Здесь пока сделано еще очень мало. Большое поле деятельности открывается при разработке проблемы темброгармонии. При помощи схем гармонического управления тембром его можно преобразовать в гармонию, составленную из обертонов данного звука. Это может дать новые аккорды безукоризненной чистоты. Наконец, нельзя не упомянуть о необходимости развития работ в области изучения звуковых явлений, лежащих на границе между звуком и шумом.

Фильтрация узких полос частот из сплошного спектра, полученного от генератора «белого шума», позволит, по-видимому, получить не только интересные звуковые эффекты. Вполне вероятно, что этот метод окажется пригодным для образования унисонного звучания.

Электрические музыкальные инструменты имеют большое будущее. Их достоинства — огромные диапазоны по высоте и громкости звука и возможность смены тембров. Их база — современная электроника — продолжает свое бурное развитие, обеспечивая дальнейшее совершенствование новых музыкальных инструментов.

Ближайшая задача ученых, изобретателей и радиолюбителей-экспериментаторов, работающих в области электромузыки, состоит в том, чтобы довести новые инструменты до их применения в повседневной практике.

Цена 1 р. 50 к.

[redacted]